

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LA SYNCHRONISATION ET LA CADENCE

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN PHILOSOPHIE

PAR

MAXIME SAINTE-MARIE

JANVIER 2008

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué, tant par leur soutien que par leurs commentaires, au parachèvement de ce projet à la fois universitaire et personnel : tout d'abord, M. Serge Robert, directeur de recherche pour la rédaction du présent mémoire, pour ses encouragements et sa disponibilité; ensuite, MM. Alain Voizard et François Latraverse, respectivement directeurs du département de philosophie et des études de second cycle, pour leur présence et leur participation au comité d'évaluation dudit document; enfin, une pensée toute particulière pour ma famille et mes amis pour leur soutien indéfectible et leur grande patience.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
RÉSUMÉ	v
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	
L'ÉVOLUTION DE LA CADENCE	14
1.1. La synchronisation biologique	19
1.2. La chronobiologie	23
1.2.1. La cadence nycthémérale.....	26
1.2.1.1. La cadence perdue et la cadence retrouvée	29
1.2.1.2. La cadence photique	33
1.2.1.3. La cadence thermique	37
1.2.2. La cadence annuelle	38
1.2.2.1. La rythmicité circannuelle	40
1.2.2.2. La cadence photique (bis)	43
CHAPITRE II	
L'APPRENTISSAGE DE LA CADENCE	47
2.1. La synchronisation motrice	50
2.1.1. La cadence neuronale	52
CHAPITRE III	
LA SOCIALISATION DE LA CADENCE	62
3.1. La synchronisation sociale	65
3.1.1. La cadence dans les sociétés humaines	72
3.1.2. La cadence au travail	75
3.1.3. La cadence militaire	77
3.1.4. La cadence gymnastique	83

CHAPITRE IV	
LA TECHNOCRATISATION DE LA CADENCE	86
4.1. La synchronisation artificielle	88
4.1.1. La cadence calendérique	91
4.1.2. La cadence horaire	99
4.1.2.1. La cadence « hydro-solaire »	100
4.1.2.2. La cadence monacale	103
4.1.2.3. La cadence urbaine	104
4.1.2.4. La cadence maritime	109
4.1.2.5. La cadence industrielle	112
4.1.2.6. La cadence globale	115
CONCLUSION	127
BIBLIOGRAPHIE	132

RÉSUMÉ

Le temps constitue sans contredit l'une des grandes énigmes auxquelles s'est vue confrontée l'entreprise philosophique. Historiquement, la réflexion sur ce concept s'est essentiellement centrée sur l'aspect perceptif, cherchant en vain à comprendre comment l'homme peut percevoir ce qui fondamentalement demeure imperceptible.

S'inspirant de l'étude cybernétique des processus d'autorégulation par rétroaction négative à l'œuvre dans les systèmes autonomes, le présent mémoire consiste à abandonner cette approche perceptive traditionnelle au profit d'une perspective active axée sur le processus de synchronisation à l'œuvre dans le monde physique et biologique.

Dans le cadre de la vaste dynamique oscillatoire, la figure de la cadence, synonyme de régularité et de couplage rythmiques, joue un rôle fondamental en tant qu'attracteur dynamique, régulateur homéostatique et principe d'efficacité énergétique. Ce « mouvement vers la cadence » résultant du processus physique de synchronisation est ici abordé dans le cadre des quatre principaux processus de développement déterminant la dynamique énergétique des organismes vivants, nommément l'évolution, l'apprentissage, la socialisation et la technocratisation, ce dernier étant propre à l'espèce humaine.

Cette quadruple activité de régulation par équilibration dynamique, contribuant de manière originale à la dynamique « temporelle » de la vie, constitue précisément la toile de fond de laquelle émerge la sensibilisation au « temps », celui-ci n'étant plus conçu comme une réalité perçue mais bien comme le produit de l'interaction entre oscillateurs et synchroniseurs.

Mots-clés : Temps (philosophie), synchronisation, cadence, temps (biologie), temps (psychologie), temps (société), technologie.

INTRODUCTION

Concept immémorial et d'utilisation quotidienne, sorte de cadre de référence pour toute investigation portant sur le « quand? » (Elias, 1996 : 12), le temps représente « une expérience sur laquelle la pensée vient sans cesse se briser » (Ricoeur, 1978 : 28) : d'un côté, bien qu'invisible, inaudible, intangible, insipide et inodore tout à la fois, le temps constitue néanmoins un élément fondamental de toute expérience humaine; de l'autre, en dépit de cette omniprésence du temps, « toute tentative de définition paraît vaine, tant ses aspects sont multiples » (Pouthas, 2003 : 431).

Que l'on considère la riche diversité des attitudes de l'homme à l'égard du temps : son expérience de l'alternance des jours et des nuits et du cycle des saisons, de la croissance et du dépérissement des plantes, de la conservation des espèces d'une génération à l'autre, du caractère transitoire de chaque créature individuelle; que l'on prenne conscience des limites que constituent la naissance et la mort, ou que l'on s'interroge sur le mystère de l'au-delà, tout cela conduit à la question : « Qu'est-ce que le temps? » mais n'y apporte pas de réponse. À vrai dire, la question du temps apparaît plus inextricable et plus déroutante que toutes les autres questions philosophiques (Gadamer, 1978 : 40).

Lieu commun sur le plan pratique, « non-lieu » sur le plan théorique, le temps semble donc enrober l'activité humaine et s'en dérober tout à la fois. À ce titre, il apparaît fort révélateur que l'extrait le plus cité et connu relativement à l'étude du temps soit la profession d'ignorance déclarée par Augustin dans le onzième livre de ses *Confessions* : « Qu'est-ce donc que le temps ? Si personne ne me le demande, je le sais ; mais si on me le demande et que je veuille l'expliquer, je ne le sais plus » (Confessions XI, 14). Face à cette situation, deux approches théoriques ont généralement été préconisées au fil du temps. La première consiste à nier l'existence du temps, à considérer celui-ci comme un faux problème et les diverses questions s'y rapportant comme le produit de simples illusions. Une telle alternative théorique a trouvé de nombreux adeptes en Inde et en Chine; en Occident, la paternité de cette approche semble revenir aux philosophes éléates :

« L'école philosophique d'Élée – Xénophane, Parménide, Zénon et Melissos (fin du 6^e, début du 5^e siècle av. J.-C.) – proclame l'existence d'une substance éternelle et immuable dont la matérialisation sous forme de corps finis, périssables et mobiles, crée des apparences trompeuses; les sens peuvent en être dupes, mais la raison en dénonce l'illusion. Il faut donc nier la réalité du temps » (Émery, 1998 : 31).

Pareille approche, reprise notamment par l'école sceptique ainsi que beaucoup plus tard par John Ellis McTaggart et autres adeptes de l'approche analytique, ne représente toutefois qu'un cas d'exception dans l'histoire de la pensée d'Occident:

Les penseurs occidentaux n'ont pas cessé de considérer la nature du temps comme un problème crucial et ne se sont jamais contentés d'explications faisant du temps une illusion ou une simple apparence, en dépit de toutes les difficultés ontologiques qui résultaient de cette attitude (Gadamer, 1978 : 43).

Toutefois, en attaquant cet épineux sujet à partir du rapport entre la perception et la dimension temporelle, la philosophie s'est pour ainsi dire immiscée d'elle-même dans un borbier inextricable : prouver l'existence du temps revient selon cette perspective à expliciter une forme d'appréhension du réel fort mystérieuse, voire même mystique, par laquelle l'humain parvient à saisir l'insaisissable, à percevoir l'imperceptible. Ainsi, tandis que la première approche philosophique consiste à nier radicalement ce que l'expérience humaine et le gros bon sens semblent affirmer sur une base quotidienne, à savoir l'existence du temps, la seconde approche tente de prouver celle-ci sur la base de la perception du temps, activité dont l'expérience quotidienne et le gros bon sens démontrent l'impossibilité. Ces tâches ardues, voire impossibles sont à l'origine de concepts aussi abstraits qu'obscurs ainsi qu'à l'élaboration de théories nombreuses et sophistiquées, parmi les plus sibyllines de l'histoire de la philosophie.

Prônant une approche différente, le sociologue allemand Norbert Elias propose d'abandonner la perspective substantive ou nominaliste du « temps » au profit d'une approche verbale, séant mieux à l'expression de la dimension temporelle et de son rapport intime à l'action.

S'il existait en allemand sous une forme verbale, du genre *zeiten* (« temporer ») sur le modèle de l'anglais *timing*, on n'aurait pas de peine à comprendre que le geste de « consulter sa montre » a pour but de mettre en correspondance (de « synchroniser »)

des positions au sein de deux ou plusieurs séquences d'événements. Le caractère instrumental du temps (ou de l'action de « temporer ») s'imposerait alors avec évidence. En lieu et place de cela, le vocabulaire dont nous disposons n'offre au sujet parlant, et donc aussi au sujet pensant, que des expressions comme « déterminer le temps » ou « mesurer le temps ». Ces habitudes linguistiques contribuent à égarer la réflexion. Elles redonnent sans cesse vigueur au mythe du temps comme étant une chose en quelque manière présente, existante, et en tant que telle déterminable et mesurable par l'homme, même si elle ne se laisse pas percevoir par les sens. Sur cette singulière manière d'être du temps on peut philosopher inlassablement et c'est bien ce que l'on a fait au fil des siècles (Elias, 1996 : 54).

En rapprochant ainsi le temps de l'action, la réflexion temporelle passe ainsi dire d'une perspective phénoménale à une approche procédurale, laquelle rattache le temps non pas « de quelque expérience de la nature mais bien de l'organisation du mouvement » (Fraisse, 1974 : 6). Pareille approche s'inscrit dans la mouvance constructiviste piagétienne, laquelle situe l'action serait à la base de l'acquisition progressive des connaissances.

L'instrument d'échange initial n'est pas la perception, comme les rationalistes l'ont trop facilement concédé à l'empirisme, mais bien l'action elle-même en sa plasticité beaucoup plus grande. (...) De façon générale, toute perception aboutit à conférer aux éléments perçus des significations relatives à l'action et c'est donc de l'action qu'il convient de partir (Piaget, 1970 : 12).

Également, en rapprochant la dimension temporelle de l'action, l'approche préconisée par Elias rejoint les thèses proposées par la toute première psychologie, notamment par deux des principaux fondateurs de la psychologie française, Henri Piéron et Pierre Janet.

L'orientation de la psychologie nouvelle s'est trouvée fixée par la conférence de Henri Piéron au Congrès international de Psychologie d'Oxford en 1923 et par le cours que fit Pierre Janet au Collège de France en 1927-1928 sur *L'évolution de la mémoire et de la notion du temps*. Piéron ne se préoccupait que d'explorer les problèmes psycho-physiologiques de la perception du temps. Mais à ce propos il a été amené à définir une méthode générale : ces problèmes doivent être abordés « sur le terrain objectif de l'analyse de la conduite humaine vis-à-vis du temps » (1923, p.1). P. Janet, avec son originalité habituelle, a renouvelé les perspectives de l'étude du temps. Son premier cours affirmait que la psychologie a mieux à faire que de se centrer sur l'étude de la pensée; elle doit partir de l'action. La seule question à se poser est la suivante : « Quelles sont nos actions sur le temps? » Selon lui, le premier acte relatif au temps est la conduite d'effort, d'où naît le sentiment de la durée, comme il naîtra aussi de la conduite d'attente. Ce sentiment n'est pas une action primaire mais une régulation de l'action, due à la nécessité de nous adapter aux changements irréversibles (Fraisse, 1957 : 9-10).

Enfin et surtout, en suggérant de parler de « temporation » plutôt que de temps, Elias fait appel à un processus bien particulier, laissé pour compte par la réflexion philosophique depuis des siècles : la synchronisation. Celle-ci, plus qu'une simple procédure de coordination horaire, désigne une vaste dynamique d'ajustement de fréquences et de couplage oscillatoire, prévalant aussi bien au niveau physique et biologique que social. C'est à ce processus énergétique ubiquitaire, à son importance dynamique ainsi qu'à son rôle dans l'expérience « temporelle » qu'est consacré le présent mémoire.

La synchronisation prévaut à tous les niveaux de l'univers, de la dynamique quantique aux mouvements cosmiques : galaxies, cellules, écosystèmes et organismes, bref tout ce qui nous entoure et possède sa dynamique propre participe à ce vaste jeu d'ajustement de fréquences et de phases. La découverte de ce phénomène dérive des tentatives du mathématicien et polymathe hollandais Christian Huygens, pionnier de la théorie ondulatoire, visant à résoudre le problème épineux de la détermination de la longitude en mer. Cette découverte physique est relatée par une lettre du savant adressée à son père Constantijn datée du 26 février 1665 :

Ayant été obligé de garder la chambre pendant quelques jours, et même occupé à faire des observations sur mes deux horloges de la nouvelle fabrique, j'en ai remarqué un effet admirable, et auquel personne n'aurait jamais pu penser. C'est que ces deux horloges étant suspendues l'une à côté de l'autre, à la distance d'un ou deux pieds, gardent entre elles une justesse si exacte, que les deux pendules battent toujours ensemble, sans jamais varier. Ce qu'ayant fort admiré quelque temps; j'ai enfin trouvé que cela arrivait par une espèce de sympathie : en sorte que faisant battre les Pendules par des coups entremêlés, j'ai trouvé que dans une demi-heure de temps, elles se remettaient toujours à la consonance, et la gardaient par après constamment, aussi longtemps que je les laissais aller (Huygens, 1893 : p. 244).

Cette « sympathie des horloges » (*ibid.* : p. 243), résultat des expériences d'Huygens, avait certes de quoi surprendre la communauté scientifique d'alors : « rien dans la description mathématique du pendule dont on disposait à l'époque ne permettait d'expliquer cette mystérieuse propagation d'un ordre d'une pendule à l'autre » (Gleick, 1991 : 367). Stupéfié, Huygens entreprend dans les jours suivant cette découverte une série d'expériences visant à expliquer ce phénomène sympathique. Huygens suppose d'abord que l'interaction cadencée des horloges résulte du mouvement de l'air occasionné par l'oscillation des pendules, puisqu'aucune synchronisation ne se produit lorsque la distance entre les deux horloges

dépasse six pieds. Cette hypothèse est toutefois rapidement abandonnée, puisque la synchronisation se produit même lorsqu'une planche de bois est placée entre les deux horloges de manière à empêcher les courants d'air. Supposant alors que la sympathie des horloges est produite par la vibration de leur support commun, Huygens suspend chaque horloge à une planche, puis repose les extrémités de chacune des deux planches sur le dossier de deux chaises se faisant dos à quelques pieds de distance. À première vue, rien ne change : les deux horloges demeurent en parfaite synchronie, l'une faisant *tic* lorsque l'autre fait *tac*. En décalant volontairement le balancement de l'un des deux pendules, Huygens s'aperçoit que les chaises supportant les deux planches sur lesquelles sont suspendues chacune des horloges se mettent étonnamment à se balancer sous la force oscillatoire des pendules désynchronisés, cette vibration subite ne cessant que lorsque les deux pendules retrouvent leur cadence. Comme le rapporte Huygens à Sir Robert Moray, membre émérite de la Royal Society : « étant venu à la dite consonance les chaises ne se meuvent plus mais empêchent seulement les horloges de s'écarter parce qu'aussitôt qu'ils tâchent à le faire, ce petit mouvement les remet comme auparavant » (Huygens, 1893 : 256).

À la suite des expériences de Huygens et en dépit de leurs résultats inusités, le phénomène physique de la synchronisation tombe pour ainsi dire dans l'oubli. Ce n'est que trois siècles plus tard que l'étude du phénomène revient à l'agenda scientifique, soit dans la seconde édition du célèbre *Cybernetics* de Norbert Wiener, ouvrage fondateur de la discipline éponyme. Au croisement de l'informatique, de la robotique et de l'ingénierie, la « cybernétique » (du grec *kubernetés*, signifiant « pilote, gouverneur ») se propose de « décrire la branche d'étude concernée par les systèmes de communication et de contrôle autorégulateurs chez les organismes vivants et les machines » (Lovelock, 1990 : 68). En s'intéressant ainsi aux processus d'autorégulation, caractéristiques des systèmes autonomes, cette discipline met l'accent non pas sur les composantes systémiques elles-mêmes, mais bien sur leurs interactions et les échanges énergétiques qui en découlent.

Les différents *systèmes* sont des ensembles d'éléments entre lesquels s'exerce une *interaction* qui ne peut jamais se réduire à zéro : l'absence d'interaction signifierait la mort, la disparition d'un système, sa décomposition dans les éléments constitutifs (...). C'est *l'ouverture* du système, par l'interaction avec les autres systèmes, qui empêche sa dégénérescence, sa mort, par la dégradation inévitable de l'énergie, par le désordre croissant. Des *systèmes de systèmes* peuvent ainsi se constituer pour bâtir

toute la diversité du monde, dans un perpétuel et universel échange énergétique, (...) véritable sauvegarde de la vie des systèmes (Nicolescu, 2002 : 113-114).

Pour la cybernétique, cette dynamique énergétique autorégulatrice consistant à « ajuster les fonctionnements énergétiques aux modifications d'environnement » (De Peretti, 1997 : 56), opère suivant une procédure cyclique d'équilibration appelée « rétroaction négative ». James Clerk Maxwell fait pour la première fois mention d'un tel mécanisme d'autorégulation dans ses analyses de la machine à vapeur à régulateur, datant de 1868.

Dans la machine à vapeur à « régulateur » (...) le régulateur est essentiellement un organe sensible (ou un transducteur) qui modifie la *différence* entre la vitesse réelle à laquelle tourne le moteur et une certaine vitesse idéale ou, du moins, préférable. Le comportement du régulateur est déterminé par le comportement des autres parties du système et indirectement par son propre comportement à un moment antérieur (Bateson, 1995 : 272-273).

Selon ce processus, la dynamique d'un système tend vers un idéal régulateur et tout écart relativement à celui-ci est compensé par le biais de cycles de rééquilibration : « quand une action extérieure modifie un état d'équilibre mobile, le système réagit spontanément de façon à stopper cette action extérieure » (Laborit, 1968 : 69). Ce mécanisme d'équilibration par « pendulation », loin d'être intermittent, constituerait au contraire l'« âme » des systèmes autonomes; ceux-ci dernier étant constamment la proie de nouvelles perturbations, le maintien de leur autonomie dépend leur capacité à maintenir leur mouvement perpétuel de rééquilibration; « à leur défaut, un emballement se produit en conduit alors à des arrêts brusques, à des voltes brutales, sinon à des accidents » (De Peretti, 1997 : 315). En ce sens, la dynamique d'un tel système est « analogue à celle du funambule sur sa corde, le mouvement est le résultat de corrections continues d'un état de déséquilibre » (Houseman et Severi, 1986 : 15).

Cet incessant bouclage par rétroaction négative, marque distinctive des systèmes auto-constitués et autorégulateurs, suit « une logique circulaire qui paraîtra étrangère à ceux d'entre nous qui ont l'habitude de penser en termes de logique linéaire traditionnelle de cause et d'effet » (Lovelock, 1990 : 70). Deux images particulières peuvent ici servir d'analogie : la première, plutôt burlesque, est celle du Baron de Münchhausen qui se sort du sable mouvant

en se tirant lui-même par les cheveux; la seconde est celle de l'*ouroboros*, symbole gnostique par excellence.

Les mécanismes sous-jacents qui dotent les systèmes naturels d'autonomie (...) sont liés à un type d'interactions circulaires, partout présentes dans le monde naturel. Ce qui nous amène à prendre au sérieux l'image traditionnelle du serpent qui se mord la queue, en tant que représentation paradigmatique de l'autonomie comme loi propre et autorégulation (Varela, 1989 : 8).

C'est sur la base de cette logique circulaire de l'autorégulation énergétique des systèmes que Wiener aborde, dans le dernier chapitre de la seconde édition de son livre *Cybernetics*, le phénomène ondulatoire de l'« attraction fréquentielle » (*frequency pulling*), par lequel des systèmes oscillants parviennent à ajuster leur fréquence à la dynamique ambiante (Wiener, 1961 : xii, 199). Le concept d'oscillateur, introduit par Andronov et Witt en 1937, désigne un système ouvert et autonome, dissipant son énergie dans l'environnement sous forme vibratoire. En ce sens, un oscillateur constitue « un cousin plus ou moins éloigné du pendule » (Gleick, 1991 : 61) : animé d'un mouvement vibratoire naturel, appelé « fréquence naturelle », un système oscillant tend à maintenir celle-ci en dépit de perturbations ambiantes. Autrement dit, l'oscillation d'un système exerce un important pouvoir d'attraction dynamique.

Par définition, un attracteur possède une importante propriété : la stabilité – dans un système réel, soumis à des chocs et des vibrations, le mouvement tend à retourner vers l'attracteur (...). Un choc peut faire dévier un bref instant la trajectoire, mais les mouvements transitoires résultants disparaissent. Même si le chat cogne la pendule, elle ne bat pas soixante-deux secondes à la minute » (Gleick, 1991 : 180).

Or, dépit de cette résilience vibratoire, des oscillateurs peuvent néanmoins ajuster mutuellement leur fréquence; l'exemple de la synchronisation des horloges de Huygens en constitue d'ailleurs un cas évident. Ce phénomène s'explique aisément : un tel couplage oscillatoire constitue un cycle plus stable, un attracteur plus puissant que n'importe quel oscillateur considéré isolément. Cette quête de la stabilité et de l'équilibre est à l'origine de la constitution de véritables champs de synchronisation.

Le mot « champ » apparaît pour la première fois en physique en 1849, dans les travaux de Michael Faraday, mais le concept lui-même est plus ancien. Les physiciens du XVIII^e siècle ont déjà proposé de remplacer l'action à distance, présente dans la théorie de la gravitation de Newton, par un champ gravitationnel. Ce

champ est bâti par toutes les particules de matière situées dans l'espace et il agit sur chaque particule située à un point donné de l'espace. De manière analogue, Faraday proposait de remplacer l'action directe entre les charges électriques ou les courants électriques par un champ électrique et un champ magnétique, produits par l'ensemble des charges et courants existant dans l'univers (Nicolescu, 2002 : 38).

La particularité du concept physique de champ repose sur « l'absence de toute brique fondamentale de la réalité physique » (Nicolescu, 2002 : 93) : à la différence de la physique classique, l'accent n'est pas mis ici sur le concept d'objet, mais sur les processus, la transmission énergétique et la connectivité. En ce sens, l'essentiel, dans un champ de synchronisation, ce n'est pas tant les oscillateurs en tant qu'objets, mais bien les oscillations elles-mêmes en tant que processus énergétiques.

On pourrait ainsi représenter un champ par un *réseau* formé de *ressorts* métalliques attachés les uns aux autres. Le réseau remplit tout l'espace. Les ressorts sont infiniment petits et donc, dans une petite région de l'espace, il y a un nombre *infini* de ressorts. (...) Les différents champs interagissent entre eux : les différents réseaux constitués de ressorts sont interconnectés par d'autres ressorts, formant de super-réseaux, des *réseaux de réseaux*. (...) Les ressorts eux-mêmes sont invisibles mais les vibrations de ces ressorts sont observables, détectables. Selon cette image on pourrait affirmer que *tout ce qui est manifesté est vibration* (Nicolescu, 2002 : 41).

Or, c'est à cette interaction particulière entre oscillation et synchronisation ainsi qu'à leur rôle dans l'organisation et l'autorégulation des systèmes que s'intéresse Wiener. Pour l'auteur, cette dynamique oscillatoire et le phénomène d'attraction fréquentielle résultant de l'interaction d'une multitude d'oscillateurs sont à l'origine d'un processus fondamental d'auto-organisation. Le rôle autorégulateur de la synchronisation est fort bien mis en évidence au niveau de l'activité électrique de réseaux de générateurs connectés en parallèle.

In such a system, a generator which is tending to run too fast and thus to have too high a frequency takes a part of the load which is greater than its normal share, whereas a generator which is running too slow takes a less than normal part of the load. The result is that there is an attraction between the frequencies of the generators. The total generating system acts as if it possessed a virtual governor, more accurate than the governors of the individual governors and constituted by the set of these governors with the mutual electrical interaction of the generators (Wiener, 1961: 201).

À la lumière de cet exemple, un champ de synchronisation émerge lorsque des systèmes oscillants interagissent en ajustant mutuellement leur activité fréquentielle par accélération ou retard de phase, créant alors un système de systèmes oscillants, plus stable et

robuste que chaque oscillateur considéré isolément et entraînant chaque oscillateur sur une fréquence commune.

Abordant le phénomène bien connu des ondes cérébrales, Wiener émet l'hypothèse que le système nerveux fonctionne selon un phénomène similaire d'attraction oscillatoire, divers neurones ajustant la fréquence de leur activité électrique à celle du groupe, à la manière d'un générateur. Un tel processus s'observe également dans la nature, notamment au niveau de l'ajustement fréquentiel de clignotements de lucioles ou de chants de criquets et de grenouilles.

Suivant ces exemples, Wiener invite la communauté scientifique à s'intéresser davantage à l'attraction fréquentielle ainsi qu'aux phénomènes d'organisation et d'autorégulation qui en découlent. Répondant à son appel, Arthur Winfree, lors d'une série d'expériences portant sur des systèmes oscillants, découvre qu'une telle attraction fréquentielle ne se produit qu'à partir d'un certain degré d'homogénéité rythmique, rapprochant ainsi la synchronisation des phénomènes de transition de phase : à l'instar du passage d'un corps de l'état liquide à l'état solide, la synchronisation ne s'effectue non pas graduellement, mais de manière spontanée et discontinue.

When the temperature is just 1 degree above the freezing point, water molecules roam freely, colliding and tumbling over one another. At that temperature, water is a liquid. But now cool it ever so slightly below the freezing point and suddenly, as if by magic, a new form of matter is born. Trillions of molecules spontaneously snap into formation, creating a rigid lattice, the solid crystal we call ice. Similarly, sync occurs abruptly, not gradually, as the width of the frequency distribution is lowered through the critical value. In this analogy, the width of the distribution is akin to temperature, and the oscillators are like water molecules. The main difference is that when the oscillators freeze into sync, they line up in time, not space (Strogatz, 2003: 54).

Cette cristallisation fréquentielle soudaine, appelée « transition de Kuramoto », constitue assurément l'une des découvertes les plus importantes de la physique moderne. Tant en physique qu'en biologie, l'étude de la synchronisation a entraîné la découverte de gigantesques champs de synchronisation, résultant de l'ajustement fréquentiel de myriades de systèmes oscillants.

« The tendency to synchronize is one of the most pervasive drives in the universe, extending from atoms to animals, from people to planets. Female friends or coworkers who spend a great deal of time together often find that their menstrual periods tend to start around the same day. Sperm swimming side by side en route to the egg beat their tails in unison, in a primordial display of synchronized swimming. Sometimes sync can be pernicious: Epilepsy is caused by millions of brain cells discharging in pathological lockstep, causing the rhythmic convulsions associated with seizures. Even lifeless things can synchronize. The astounding coherence of a laser beam comes from trillions of atoms pulsing in concert, all emitting photons of the same phase and frequency. Over the course of millennia, the incessant effects of the tides have locked the moon's spin to its orbit, which is why we always see the man in the moon and never its dark side (Strogatz, 2003: 14).

À la lumière de ces exemples, toute dynamique vibratoire à l'œuvre dans l'univers tend vers un summum d'homogénéisation rythmique, pareil processus homéostatique constituant un idéal absolu en matière d'efficacité énergétique. Cet idéal de synchronisation s'apparente à un phénomène bien connu, bien que trop souvent négligé : la cadence.

Issu du latin *cadere*, signifiant « tomber », adapté de l'italien *cadenza*, le concept de « cadence » constitue à la fois l'un des termes les plus galvaudés et méconnus de la langue française : ordinairement apparenté au concept de « rythme », la cadence représente toutefois un type de rythmicité toute particulière, dont la spécificité est la plupart du temps ignorée.

On se sert surtout de *cadence* pour désigner une organisation rythmique de forme assez simple, comportant le retour régulier et bien marqué des temps forts. On parle de marteaux frappant l'enclume « en cadence »; les rameurs du *lac* de Lamartine frappent les flots « en cadence ». Le pas cadencé, c'est la marche d'une troupe où tous frappent la terre en même temps et du même pied. On ordonne « Sans cadence! » pour rompre cette régularité, par exemple en franchissant un pont fragile qui serait ébranlé dangereusement par un pas cadencé » (Souriau *et al.*, 2004 : 293).

À la lumière de cette définition, le concept de cadence allie à la fois rythmicité, action et couplage. À l'instar d'autres concepts tels la périodicité ou la répétition, la cadence désigne d'abord un mouvement rythmique régulier, par exemple le battement cardiaque, le tictac de l'horloge, le mouvement quotidien et annuel du ciel dans le firmament, voire même l'égouttement d'un robinet et ainsi de suite. Toutefois, à la différence des concepts précédents, la particularité rythmique de la cadence repose sur sa connotation active : alors qu'une périodicité et une répétition peuvent n'être que simplement perçues, « être en cadence », c'est toujours « agir en cadence ». Enfin, la cadence est également synonyme de couplage rythmique : « entrer dans la cadence », « se mouvoir en cadence » et « maintenir la

cadence » sont toutes des expressions qui dénotent une dynamique non seulement régulière, mais également partagée.

À la fois synonyme de régularité, d'activité et de couplage rythmiques, la cadence constitue un principe d'efficacité énergétique indéniable. Les deux cas suivants l'illustrent d'ailleurs fort bien : en 1831 à Manchester et en Anjou en 1849, des ponts se seraient effondrés sous la force occasionnée par la procession d'une armée de soldats marchant en cadence; depuis ces catastrophes, toute troupe militaire doit désormais traverser un pont « hors cadence », chaque soldat étant alors tenu de désynchroniser ses propres pas avec ceux de ses voisins immédiats. Pour prendre un exemple plus ludique, lorsque deux équipes souquent à la corde, l'équipe dont les membres parviennent à souquer en cadence et à maintenir celle-ci est pratiquement assurée de remporter le duel.

À vrai dire, l'efficacité énergétique de la cadence, résultant de l'émergence et du maintien de champs de synchronisation, est à l'origine de bien des développements technologiques. La radiophonie constitue la plus ancienne et mieux connue de ces applications : elle permet au circuit interne d'un récepteur radio de se « verrouiller » sur un signal diffusé par une station, autrement dit d'entrer en cadence avec celui-ci et ainsi permettre la transmission du signal acoustique en dépit de nombreuses irrégularités fréquentielles. La primauté historique du courant alternatif sur le courant continu s'explique également par l'efficacité énergétique de la cadence : l'inversion des bornes d'un générateur électrique à une fréquence relativement rapide (généralement 50 ou 60 cycles par secondes), en instaurant une cadence électrique à même le courant, permet de réduire de manière appréciable la perte d'énergie due à la résistance du matériel. De plus, puisque des générateurs connectés en parallèle ont tendance à se synchroniser mutuellement, les générateurs à fréquence d'opération plus lente soutirant de la puissance aux plus rapides, la synchronisation rend possible à la fois la production et la distribution énergétiques sur l'ensemble d'un réseau électrique, chaque génératrice fonctionnant en cadence avec le réseau. Le fonctionnement des lasers est pour sa part basé sur la production et l'émission de photons vibrant en cadence; cette cadence explique d'ailleurs la monochromie des faisceaux lumineux émis par ces instruments, chaque photon émis étant de même fréquence. Plus récemment, suivant la découverte de la supraconductivité par le physicien hollandais Heike Kamerlingh-

Onnes en 1911, les scientifiques se sont aperçus que la disparition de toute résistance électrique lors du passage d'un corps de la simple conductivité à la supraconductivité à de très basses températures est due au phénomène de la synchronisation, tous les électrons entrant alors subitement en cadence.

Certes, toute interaction dynamique à l'œuvre dans le monde ne mène pas nécessairement à la cadence : dans certains systèmes chaotiques, l'effet de la synchronisation peut être minime, voire inexistant. Toutefois, cela n'empêche pas pour autant la cadence de constituer un attracteur très puissant, au même titre que le « point mort », force entropique responsable de la désintégration de tous les systèmes. À vrai dire, le « cycle limite » de la cadence constitue un idéal de régulation vers lequel tend tout système en vue de « persévérer dans son être » : pour tout système ouvert accumulant et perdant à la fois de l'énergie, entrer en cadence et maintenir la cadence permet de minimiser la dépense énergétique et de maximiser la force de travail.

Compte tenu de cette efficacité énergétique indéniable, il y a donc fort à parier que le « mouvement vers la cadence » ait joué un rôle déterminant dans l'équilibration rétroactive des organismes vivants, considéré par la cybernétique comme le moteur et l'âme des systèmes autonomes. Idéal de synchronisation, la cadence constituerait ainsi un aspect fondamental des rapports entre les organismes et leur environnement. En particulier, les stratégies adaptatives des êtres vivants relativement à la dynamique de leur environnement résulterait de quatre processus de développement autorégulateurs différents, nommément l'évolution, l'apprentissage, la socialisation et la technocratisation, ce dernier étant spécifique à l'espèce humaine. Au niveau général de la dynamique biologique, l'évolution a permis à l'organisation métabolique des organismes d'entrer en cadence avec le rythme quotidien et annuel de la lumière du soleil, première source énergétique de l'histoire terrestre. Du côté particulier du comportement animal, l'apprentissage est caractérisé par un processus de synchronisation sensori-motrice basé sur la dynamique rythmique de l'environnement ou le fonctionnement rythmique du système nerveux, le résultat d'un tel processus étant la création d'une dynamique cadencée entre l'organisme et son environnement. Du côté du processus de socialisation, de nombreux exemples puisés à même le monde des insectes, des animaux et des diverses sociétés humaines permet de considérer l'idéal régulateur de la cadence comme

l'un des principaux facteurs responsables de la constitution des réseaux sociaux. Enfin, en ce qui concerne tout particulièrement l'homme, son aptitude technologique unique a permis l'extension du réseau social à un niveau autrement impossible par le biais d'une vaste cadence artificielle, alimentée par le développement et la diffusion progressives d'outils de synchronisation tels les calendriers et les horloges.

Évolution, apprentissage, socialisation, technocratisation : tels sont les quatre processus de développement par le biais desquels la synchronisation et plus spécifiquement l'idéal régulateur de la cadence opère au niveau la vie. Plus que de simples principes dynamiques garants de l'auto-organisation des systèmes biologiques, ces quatre « mouvements vers la cadence » constituent l'essentiel du paysage dynamique auquel l'homme se voit exposé et peuvent en ce sens être considérés comme la principale source de sensibilisation de l'homme à la dynamique de son environnement ainsi qu'au concept de temps qui y réfère. C'est à l'appui d'une telle hypothèse ainsi qu'à son examen dans le cadre des quatre processus susmentionnés qu'est voué le présent mémoire.

CHAPITRE I

L'ÉVOLUTION DE LA CADENCE

Pris au sens général, le concept d'évolution désigne « tout processus par lequel une chose change graduellement pour prendre une forme différente habituellement plus complexe » (Nadeau, 1999 : 228). De nos jours, le concept est toutefois davantage utilisé sous son acception biologique et réfère plus particulièrement à la théorie transformiste de Charles Darwin ou « théorie de la descendance modifiée par le moyen de la sélection naturelle » (Tort, 1996a : 1425). Cette théorie est construite sur la base de trois principes biologiques distincts, nommément la variabilité, la transmissibilité et la sélectivité. Le principe de variabilité va de soi : chaque organisme possède une structure morphologique et des particularités anatomo-physiologiques uniques, par rapport aux organismes d'autres espèces, mais également relativement à d'autres organismes de la même espèce. Le principe de transmissibilité désigne pour sa part la possibilité qu'un organisme hérite des variations biologiques de ses prédécesseurs : l'hérédité permet non seulement « la reproduction d'une même structure globale entre les générations » (Tort, 1996a : 1432), mais peut également entraîner la transmission à la progéniture des particularités anatomo-physiologiques de ses géniteurs. La validation expérimentale de ces deux principes biologiques n'est aujourd'hui plus à faire : « la domestication et ses effets relèvent d'une expérience très ancienne, très commune et, de surcroît, observable » (Tort, 1996c : 4408).

La genèse intellectuelle du concept de sélection naturelle ne peut, pour une part significative, être véritablement comprise qu'à partir du point d'appui que constituait l'existence, attestée par ses produits, de la sélection artificielle pratiquée par les éleveurs, capables depuis longtemps, suivant des recettes empiriques de croisement et de recroisement, de « créer » de nouvelles races par tri méthodique et consolidation héréditaire de variations physiques fortuitement apparues au sein de groupes d'animaux conspécifiques vivant et se reproduisant en condition domestique (Tort, 1996b : 3931).

Or, c'est sur la possibilité de telles techniques, par lesquelles éleveurs et botanistes s'emploient à « contrôler » les processus de variabilité et de transmissibilité à l'œuvre chez certaines espèces domestiques, que s'appuie le principe de sélectivité : puisque ne peut être contrôlé que ce qui est contrôlable, le fait que les espèces sont ainsi ouvertes aux conditions artificielles de leur environnement domestique, alors force est de supposer qu'une dynamique écologique analogue ait cours dans le monde naturel, contrôlant les processus stochastiques de transmissibilité et de variabilité biologiques. Selon Darwin, une telle sélection naturelle opèrerait comme suit : compte tenu du principe de variabilité ainsi que du principe malthusien de surpopulation et de la compétition énergétique qui en découle, certaines variations biologiques particulières peuvent conférer aux organismes qui en sont porteurs un avantage vital, autrement dit une « longueur d'avance » dans la course pour l'acquisition des ressources énergétiques nécessaires à la survie et à la reproduction; puis, en vertu du principe de transmissibilité, ce même avantage vital peut être héréditairement transmis aux générations suivantes, permettant ainsi à cette famille de conserver son ascendant énergétique sur les autres membres de la communauté spécifique. À plus ou moins long terme, un tel déséquilibre tend à favoriser la survie des seuls organismes dotés des dites variations avantageuses et, partant, à stimuler l'émergence et le développement de traits et de conduites adaptatifs analogues chez les espèces partageant le même écosystème et engagées dans la même compétition énergétique. Pour Darwin, cette dynamique à la fois intra- et interspécifique serait à même d'expliquer l'évolution et le développement phylogénétique de la matière vivante.

Ce darwinisme classique est devenu néo-darwinisme au cours des années trente, quand s'est élaboré ce que l'on est convenu d'appeler la synthèse moderne entre les idées darwiniennes basées sur la zoologie, la botanique et la taxonomie, d'une part, et les connaissances naissantes en génétique des cellules et des populations, d'autre part. Cette synthèse a établi l'idée fondamentale que les modifications se produisent par le biais de petits changements dans des traits de l'organisme spécifiés par des unités hérissables, les gènes. La constitution génétique responsable de l'ensemble des traits conduit à des taux différentiels de reproduction et, de ce fait, à des changements dans la constitution génétique d'une population animale au cours des générations. L'évolution est simplement la totalité de ces changements génétiques au niveau des populations interfécondes (Varela, 1993 : 250).

En dépit des nombreux développements qu'elles ont fait naître, les théories darwinienne et néo-darwinienne s'avèrent aujourd'hui inadéquates pour diverses raisons.

Tout d'abord, « les contraintes de la survie et de la reproduction sont bien trop faibles pour fournir une explication de la manière dont les structures se développent et se modifient » (Varela, 1993 : 258). Ces contraintes sont certes importantes, mais ne déterminent pas intégralement le développement spécifique : par exemple, la transmission héréditaire de caractéristiques dénuées de toute valeur fonctionnelle est tout à fait inexplicable dans une perspective d'optimisation de la valeur adaptative globale. Un autre cas problématique est le phénomène de stase : « certains groupes non seulement persistent, mais ne changent guère, même si leur environnement, de notre point de vue, a changé de manière considérable » (Varela, 1993 : 259). Dire que ces espèces n'évoluent pas parce qu'elles sont déjà parfaitement adaptées à leur milieu, peu importe les modifications que celui-ci puisse subir, ne semble pas constituer une réponse satisfaisante.

Devant l'incapacité de la théorie darwinienne à expliquer ces phénomènes, Francisco Varela propose d'abandonner la conception classique de l'évolution comme « optimisation de la valeur adaptative » (Varela, 1993 : 252) au profit d'une vision proscriptive, selon laquelle « ce qui n'est pas interdit est permis » (Varela, 1993 : 264). L'évolution ne déterminerait donc pas quel chemin les espèces doivent prendre, mais plutôt ceux qu'elles ne doivent pas emprunter, constituant ainsi « un large filtre de survie admettant toute structure dotée d'une robustesse suffisante pour persister » (Varela, 1993 : 265).

Le développement des espèces ne correspond donc aucunement à la réalisation d'un plan idéal, mais plutôt à une sorte de bricolage, caractérisé par l'intégration au fil des générations d'une série de traits physiologiques et métaboliques conservés parce que non incompatibles à la survie.

La construction d'un organisme vivant ne peut pas être semblable à une construction humaine dont le plan d'ensemble a été établi à l'avance par un architecte. L'organisme vivant ressemblerait plutôt à la maison que se construit le nouvel habitant d'une contrée sauvage : il commence par bâtir une hutte pour s'abriter de la pluie et du vent et agrandit ensuite l'habitation au fur et à mesure qu'augmentent sa richesse et le nombre de ses enfants. La hutte n'est pas détruite; elle se transforme en débarras et presque toutes les pièces qui s'y ajoutent changent de fonction au fur et à mesure que l'ensemble s'agrandit. Les vestiges témoins de l'histoire de cette construction demeurent, ne serait-ce que parce que l'on n'a jamais pu raser la maison pour la reconstruire entièrement (Lorenz, 1997 : 43).

À la lumière de cette comparaison, l'évolution ne constitue en rien une forme d'eugénisme, puisqu'elle ne se met à l'ouvrage que lorsque le maintien de la balance énergétique des systèmes biologiques le nécessite. Autrement dit, elle constituerait « une force de *statu quo*, qui permet de poursuivre la même danse qu'avant et non d'en inventer de nouvelles » (Bateson, 1996 : 369). Une telle interprétation s'apparenterait fortement aux idées formulées par Arthur Russel Wallace, « codécouvreur » de la théorie de l'évolution. À l'instar de la théorie darwinienne, celle de Wallace repose sur « l'aptitude différentielle des variétés ou des espèces à assurer leur survie au sein de rapports de compétition » (Molina, 1996 : 4571); toutefois, ce « combat pour l'existence » et la dynamique évolutive qui en dérive est conçue non pas en termes d'optimisation mais bien d'équilibration. Selon cette perspective, « le pool génétique des populations obéit à des lois d'équilibration » (Piaget, 1970) en tous points analogue aux mécanismes cybernétiques d'autorégulation observés au niveau des systèmes autonomes.

Russell Wallace envoya d'Indonésie un fameux essai à Charles Darwin. (...) Il est intéressant de rappeler ici une partie de sa description du combat pour l'existence : « L'action de ce principe (le combat pour l'existence) ressemble parfaitement à celle de la machine à vapeur, qui contrôle et rectifie toutes les irrégularités juste avant qu'elles ne deviennent évidentes. De la même façon aucun déséquilibre non compensé ne peut jamais prendre de proportions manifestes dans le règne animal, car il se ferait sentir tout de suite, en rendant d'abord l'existence plus difficile et en provoquant nécessairement, par la suite, l'extinction de la vie » (Bateson, 1977 : 186).

Cette conception alternative de l'évolution consisterait en somme à « remplacer les notions de but ou d'adaptation par celles d'autocorrection » (Bateson, 1958 : 290) : chaque organisme et chaque espèce fait en quelque sorte partie d'un gigantesque réseau homéostatique, le développement phylogénétique d'une espèce étant déterminé par la dynamique autorégulatrice de l'ensemble des espèces, à la manière d'un champ.

Dans cette perspective et compte tenu de l'importance de la synchronisation dans l'auto-consistance et l'autorégulation des systèmes autonomes, force est de supposer que l'ajustement fréquentiel, considéré par Norbert Wiener comme l'un des principaux facteurs d'auto-organisation à l'œuvre dans l'univers, joue un rôle important dans la dynamique évolutive et fonctionnelle des systèmes biologiques.

L'émergence et le développement récents de la chronobiologie en fait d'ailleurs foi : les nombreuses percées théoriques et expérimentales effectuées dans cette discipline depuis plus d'un demi-siècle ont progressivement conduit les biologistes à reconnaître que « la rythmicité (...) constitue, au même titre que la transformation d'énergie ou la faculté de se reproduire, l'une des propriétés fondamentales de la matière vivante » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 23). Cette rythmique métabolique, l'un des premiers fruits de l'évolution, résulte d'un long processus de synchronisation phylogénétique à la dynamique de l'environnement.

Avant que la vie n'apparaisse sur la terre - il y a entre deux et quatre milliards d'années -, l'alternance du jour et de la nuit due à la rotation de notre minuscule planète autour du soleil, fut l'un des nombreux cycles constitutifs de l'environnement dans lequel la vie se développa. Les flux et reflux des marées, l'alternance des saisons en fonction de l'orbite que décrit la terre autour du soleil furent à l'origine de l'apparition d'autres séries de cycles alors que la vie commençait. Les cycles de formation des taches solaires, la dilatation et la compression de l'atmosphère primitive, pareilles à la respiration d'un énorme animal endormi, constituèrent autant de changements de rythmes de l'environnement auxquels les premières formes de vie s'adaptèrent, et qu'elles finirent aussi par intérioriser. En fonction de ces données, aucune forme de vie n'évolua ou ne put évoluer dans un monde atemporel et sans rythmes. Au contraire, ces rythmes d'alternance du jour et de la nuit, de la chaleur et du froid, de l'humidité et de la sécheresse marquèrent les premières formes de vie de propriétés primordiales qui constituèrent la base de développement des formes de vie ultérieures (Hall, 1984 : 28).

De tous ces rythmes ambiants ayant déterminé l'organisation rythmique de la vie, le premier et sans contredit le plus important est celui de la lumière : compte tenu de l'importance de cette source énergétique, l'évolution, par le biais de la sélectivité et de la transmissibilité, a mené au développement puis à l'inscription génétique d'un mécanisme complexe d'entraînement des systèmes biologiques à la dynamique photonique de l'environnement terrestre. L'activité biologique, en ce sens, « n'est que le résultat de la transformation de cette énergie photonique solaire vers une forme plus organisée » (Laborit, 1968 : 126). C'est à cette cadence vitale, produit dynamique de l'auto-organisation des systèmes vivants, qu'est consacré le présent chapitre.

1.1 La synchronisation biologique

L'étude de la dynamique biologique à l'œuvre dans l'environnement fait partie du quotidien de l'homme depuis plusieurs millénaires. Déjà, les hommes de Néanderthal et de Cro-Magnon acquièrent une connaissance sommaire des divers phénomènes rythmiques à l'œuvre dans leur milieu, notamment en ce qui a trait à la migration du gibier, le frai des saumons ainsi que le mûrissement des fruits, baies et herbes. Puis, avec le développement de l'agriculture et de l'élevage à l'époque néolithique, l'homme s'initie aux différents rythmes des espèces cultivables ainsi qu'au cycle reproducteur des bêtes de somme (Robert, 2002 : 129).

L'un des témoignages les plus précoces de cette connaissance préscientifique nous est fourni par les hiéroglyphes égyptiens :

Sur l'une des parois de la tombe de Toutankhamon, pharaon de la XVIII^e dynastie (...), vingt-quatre babouins sont représentés, qui figurent la ronde des heures. Les anciens égyptiens avaient en effet remarqué que cet animal avait la particularité d'uriner toutes les heures. Ils prirent donc sa vessie pour une pendule (Klein, 2003 : 22-23).

La connaissance antique en la matière est d'ailleurs fort surprenante. En Grèce, Aristote et les premiers naturalistes soulignent la récurrence rythmique de nombreux phénomènes fondamentaux, par exemple la reproduction, la floraison, l'hibernation et la migration. Selon Théophraste, Androsthène, scribe d'Alexandre le Grand, aurait remarqué sur l'île de Tylos, près de Bahreïn, que les feuilles de certaines plantes occupent des positions différentes la nuit et le jour. La médecine de l'époque connaît également de nombreuses maladies périodiques, notamment les fièvres tierce et quarte ainsi que la périodicité des crises d'épilepsie (Boissin et Canguilhem, 2003 : 14, 17; Strogatz, 2003 : 103).

En dépit de l'ancienneté des telles observations, l'étude systématique de la rythmicité biologique constitue toutefois un phénomène relativement récent. En 1729, l'astronome, physicien, géologue, mathématicien et botaniste français Jean d'Ortous de Mairan présente devant l'Académie royale des sciences les résultats d'une expérience étonnante effectuée sur la sensitive : ayant observé que les feuilles de celle-ci se déploient et se réfractent au début du jour et à la tombée de la nuit respectivement, d'Ortous de Mairan découvre que ce

mouvement foliaire persiste à peu près aux mêmes heures lorsque la plante est isolée dans une pièce sombre durant plusieurs jours (Pikovsky, Rosenblum et Kurths, 1996 : 6; Robert, 1989 : 192). Reprise ultérieurement par Henri-Louis Duhamel de Monceau en 1759, cette expérience constitue « la première observation scientifique d'une activité biologique exhibant une périodicité calquée sur le nyctémère en dehors de toute perception de la variation de celui-ci » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 15).

Contemporain d'Ortous de Mairan, le biologiste suédois Carl August von Linné conçoit à Uppsala une horloge basée sur l'horaire des mouvements foliaires de diverses espèces florales : le liseron des prés s'ouvre vers 3 heures du matin, les fleurs de salsifis vers 5 heures, le nénuphar blanc à 7 heures, le souci à 9 heures, la belle de nuit à 18 heures, pareille danse foliaire se terminant vers minuit lorsque les fleurs de cactus se referment (Fraisie, 1957 : 21; 1974 : 20).

En 1832, Augustin Pyrame de Candolle effectue la première expérience de resynchronisation biologique : en étant exposées à un éclairage permanent la nuit et à l'obscurité totale le jour, des sensibles désynchronisent leurs mouvements foliaires durant quelques jours, puis finissent par ajuster ceux-ci à l'éclairage nocturne (Boissin et Canguilhem, 2003 : 16).

Les résultats surprenants des expériences d'Ortous de Mairan, de Linné, de Duhamel et de Candolle amènent un bon nombre de scientifiques à s'intéresser à l'activité oscillatoire de la vie. Ainsi, en 1814, Julien Joseph Virey (1755-1836) publie la première thèse de chronopharmacologie, intitulée « Éphémérides de la vie humaine, ou Recherches sur la révolution journalière et la périodicité de ses phénomènes dans la santé et les maladies ». Par cette étude, Virey parvient à démontrer que l'efficacité des médicaments dépend du moment de la journée où ils sont administrés (Reinberg, 2001 : 33-34).

Puis, Gustav Theodor Fechner introduit, dans *Elemente der Psychophysik* (1860), la figure de l'onde (*das Wellenschema*) comme mode de représentation de la dynamique énergétique du vivant. Cette contribution théorique de Fechner, à l'instar de l'étude générale des rythmes biologiques, disparaît toutefois de l'actualité scientifique pendant plus d'un

demi-siècle, notamment en raison du retentissement de l'œuvre de Claude Bernard : le concept de « fixité du milieu intérieur » mis de l'avant par le biologiste français « paraît s'opposer à toute idée de variations biologiques au cours du temps, (...) empêchant les physiologistes de prendre en compte dans leurs recherches et leur réflexion le problème du temps, excepté celui du temps de l'évolution et de l'ontogenèse » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 19).

En raison de ce contexte particulier, ce n'est que dans les années 20 que s'ouvrent les premiers laboratoires de recherche consacrés à l'étude des oscillations biologiques. C'est dans ce contexte de renaissance expérimentale qu'est élaboré le concept d'homéostasie, mis de l'avant par le physiologiste Walter Bradford Cannon dans son livre *Wisdom of the Body* (1932) : formé des deux termes grecs *omoios* et *istemi*, signifiant respectivement « similaire » et « rester », ce concept « se réfère à cet état remarquable de constance dans lequel se maintiennent les êtres vivants quand leur environnement se modifie » (Lovelock, 1990 : 179).

« Les processus physiologiques coordonnés qui maintiennent la plupart des états stables dans l'organisme sont si complexes et si particuliers aux êtres vivants – impliquant le cerveau et les nerfs, le cœur, les poumons, les reins et la rate, travaillant tous en coopération étroite – que j'ai suggéré un terme spécial pour désigner ces états : homéostasie » (Cannon, 1932, cité dans Lovelock, 1990 : 77).

Peu après, le biologiste allemand Erwin Bünning parvient en 1936 à confirmer l'origine génétique des rythmes biologiques. Selon lui, les espèces végétales parviennent à fleurir au bon moment de l'année en estimant la durée précise de la phase d'obscurité au cours d'un cycle de 24 heures. L'hypothèse est de taille : « les plantes se servent de leurs horloges (...) héréditaires pour se situer dans le temps de l'année et « savoir » quand elles doivent fleurir pour fructifier et se reproduire » (Reinberg, 1998 : 159). Afin de confirmer l'existence de ces horloges biologiques ainsi que leur rôle dans la floraison, Bünning parvient à obtenir, par le croisement de différentes espèces végétales, des plantes mutantes ayant des périodes de floraison hybrides de celles de leurs parents (Reinberg, 1998 : 30).

Un an après cette expérience, la première société internationale d'étude des rythmes biologiques voit le jour en Suède. Le premier congrès spécifiquement consacré aux « horloges biologiques » a lieu en 1960 à Cold Spring Harbor, dans l'état de New York :

Ce symposium marque aux yeux de tous le véritable acte de naissance de la science des rythmes biologiques par la place qu'il accorda tant aux efforts de synthèse qu'aux recherches portant sur la nature des rythmes biologiques (Boissin et Canguilhem, 2003 : 22).

Parallèlement à la biologie, la médecine développe un intérêt soudain pour l'anatomie rythmique du vivant, notamment à la suite de la mise en évidence du caractère cyclique de nombreuses maladies, notamment la maladie périodique récessive méditerranéenne, qui a une période de 7 jours (ou ses multiples), l'œdème idiopathique de la femme et l'arthrose périodique, liée à une augmentation hebdomadaire de la sécrétion de liquide synovial dans les genoux et les coudes (Boissin et Canguilhem, 2003 : 14, 17; Robert, 1989 : 198; Strogatz, 2003 : 103).

D'autres maladies périodiques peuvent concerner les glandes endocrines, la peau, la moelle osseuse. L'une des plus intéressantes, du point de vue de l'histoire des religions, est le purpura hémorragique, qui peut être impliqué dans les plaies du Christ apparaissant chez certains saints, comme saint François, tous les vendredis à peu près à la même heure. On en trouve encore chez Theresa Neumann, née en 1898 près de Munich et qui a saigné du sein gauche tous les vendredis ou tous les jeudis soir. Cette périodicité n'a cessé qu'avec son décès en 1962. (...) La psychose maniaco-dépressive est un autre exemple de maladie cyclique avec des périodes régulières, encore que les périodes puissent varier. On connaît même des périodes allant de 2 à 10 ans. Une périodicité précise a été aussi proposée chez les parkinsoniens, ainsi que chez un certain nombre de grands malades mentaux. Comme cette personne qui, après une encéphalite léthargique, retrouve ses fonctions normales pour quelques heures tous les soirs à 9 heures et retombe dans sa léthargie pendant tout le reste de la journée. On connaît aussi le cas de personnalités alternant toutes les 24 heures, avec une constance des manifestations des deux types de personnalités particulièrement remarquables. Les personnages de Jekyll et Hyde ont rendu célèbre cette anomalie (Robert, 1989 : 199).

C'est toutefois la redécouverte de la chronopharmacologie, plus de cent ans après l'étude de Virey, qui semble le plus stimuler l'étude médicale des rythmes biologiques, pareil engouement visant essentiellement à assurer « une plus grande efficacité des stratégies médicales fondamentales, de la prévention des maladies et de la posologie médicamenteuse » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 22).

Chronopathologie, chronopharmacologie, chronothérapie, chronotolérance, chronotoxicité, etc. sont des termes nouveaux inventés pour caractériser la variation dans le temps, aujourd'hui parfaitement démontrée, de la sensibilité des organismes, d'une part, aux agressions extérieures, d'autre part, aux molécules introduites dans un organisme malade afin de le soigner (Boissin et Canguilhem, 2003 : 285).

Deux médecins, Franz Halberg et Alain Reinberg, souhaitant faire de l'étude générale de la rythmicité biologique et des mécanismes qui en influencent la dynamique une discipline scientifique à part entière et méthodologiquement autonome, créent à cette fin le terme de « chronobiologie ».

1.2 La chronobiologie

La chronobiologie désigne l'étude des divers processus métaboliques, de la molécule et des gènes jusqu'au niveau des régulations nerveuses, qui prennent part à la vaste activité de synchronisation des oscillations biologiques entre elles et avec la dynamique de l'environnement.

Un rythme biologique peut toujours être décrit comme un système oscillant dans lequel des événements identiques se produisent à des intervalles de temps sensiblement égaux. L'intervalle de temps entre deux événements identiques s'appelle une *période* (ou cycle). Son inverse est la *fréquence* ou nombre de périodes par unité de temps. Au cours d'une période, le rythme présente une série d'états successifs ou *phases*. L'*acrophase* du rythme correspond à la demi-différence de l'intervalle de variation qui existe entre les deux crêtes (ou pics), positive et négative, du phénomène oscillatoire. Deux rythmes sont *synchrones* s'ils ont même période et si leurs phases sont concomitantes ou sont régulièrement décalées (Fraisse, 1974 : 15-16).

De tous ces paramètres rythmiques, le plus étudié par la chronobiologie est sans contredit la période. À ce titre, les rythmes biologiques ont été répertoriés en trois catégories générales : les rythmes infradiens, les rythmes ultradiens et les rythmes circadiens. Les rythmes circadiens, dont la période équivaut approximativement à celle du nyctémère (du grec *nykhta*, « nuit », et *emera*, « jour » et référant au cycle formé de l'alternance du jour et la nuit), constituent la catégorie rythmique la mieux connue et la plus étudiée. Les rythmes infradiens désignent pour leur part tous les rythmes dont la période est plus longue que 28 heures. Cette catégorie comprend les rythmes circahebdomadaires (d'une période d'environ 7 jours) comme celui de la reproduction de certains champignons ainsi que divers cycles inflammatoire (fièvre typhoïde) et immunitaires (fabrication d'anticorps par le greffé à l'endroit du greffon), les rythmes circadiseptiens (d'environ 14 jours) comme celui du réveil de quelques heures de la marmotte pendant sa période d'hibernation, les rythmes circamensuels (d'environ 30 jours), dont l'activité ovarienne et menstruelle constitue

l'exemple le plus connu, les rythmes circannuels, d'une période équivalente à celle de l'année solaire, et enfin les rythmes pluriannuels tels la floraison à chaque 15 ans de certaines variétés de bambous. Enfin, les rythmes ultradiens désignent les oscillations métaboliques dont la période est inférieure au seuil d'« entraînabilité » des rythmes circadiens, soit 20 heures : parmi ceux-ci, notons les rythmes cérébraux alpha et beta (d'une période de l'ordre de la milliseconde), les rythmes cardiaque (une seconde environ) et respiratoire (une dizaine de secondes), ainsi que divers rythmes horaires hormonaux.

Complément naturel à ces divers phénomènes rythmiques, la synchronisation désigne ici le phénomène d'attraction fréquentielle par lequel divers oscillateurs biologiques parviennent à ajuster mutuellement leur activité rythmique par accélération ou retard de phase.

On appellera ainsi **synchroniseur**, **entraîneur** ou *zeitgeber* (terme introduit en 1951 par J. Aschoff qui signifie « donneur de temps ») le facteur environnemental dont la variation cyclique est capable d'asservir un rythme biologique et d'imposer à ce dernier sa propre période (Boissin et Canguilhem, 2003 : 68).

De la même manière qu'un champ de synchronisation ne se constitue qu'à partir d'un certain degré d'homogénéité rythmique entre divers oscillateurs, la synchronisation biologique repose sur les relations de phase existant entre les divers rythmes biologiques. Plus un rythme est flexible, plus il s'ajuste facilement aux autres rythmes de période voisine.

« On reconnaît l'action du synchroniseur quand, en le décalant artificiellement, on assiste à un décalage correspondant des phases du rythme biologique. Inversement, on reconnaît qu'il existe un mécanisme temporel autonome quand on ne peut pas imposer au rythme induit n'importe quelle période (Fraisse, 1974 : 37).

En ce sens, « il y a des limites à l'entraînement » (Boissin et Canguilhem, 203 : 77) : lorsque le décalage de phase entre deux rythmes est trop important ou lorsque l'un des rythmes est trop résistant, toute synchronisation devient impossible. Compte tenu de ces contraintes, la méthode particulière prônée par la chronobiologie consiste à tester expérimentalement la dynamique métabolique des organismes en contrôlant les conditions rythmiques de l'environnement : il s'agit essentiellement d'isoler l'organisme de son environnement habituel et de le maintenir autant que possible dans un environnement arythmique (température ambiante constante, niveau d'éclairage constant, pression constante,

paramètres électromagnétiques constants, etc.), par exemple dans des bunkers ou des grottes. Dans un tel cadre expérimental, les rythmes biologiques entrent en « libre-cours » : libérés de la force d'attraction fréquentielle de leurs synchroniseurs habituels, les rythmes à l'étude retrouvent leur fréquence naturelle, laquelle diffère presque toujours de leur activité oscillatoire en contexte de synchronisation.

Dans le but de s'assurer de la nature endogène des rythmes observés ainsi que pour mieux en quantifier les paramètres (période, amplitude, niveau moyen, etc.), on évalue généralement « que la durée minimale d'une étude est de trois fois la valeur de la période » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 169). S'il en est ainsi, c'est d'abord parce que certains rythmes manifestent une tendance à l'amortissement après quelques jours ou quelques semaines d'exposition aux conditions constantes; dans de tels cas, il n'y a donc pas lieu de parler d'oscillation et de synchronisation. Ces phénomènes ne constituent toutefois qu'une exception : la règle en matière de dynamique métabolique est bien à l'oscillation et à la synchronisation.

Le développement et l'application de ces méthodes expérimentales au fil des décennies a permis à la chronobiologie de découvrir l'existence de trois échelles de synchronisation métabolique distinctes, à savoir au niveau microscopique, organique et « supraorganique ». À l'échelle microscopique, de nombreux phénomènes oscillent « autour de valeurs moyennes, jamais atteintes de façon stable » (Laborit, 1968 : 126)

Si l'on examine les courbes qui traduisent dans le temps les variations des différentes valeurs biologiques, ions minéraux, sécrétions hormonales ou neurohormonales, métabolismes glucidique, protidique, activités diastatiques (cholinestérasique par exemple), on s'aperçoit qu'elles décrivent des oscillations autour d'une position d'équilibre (Laborit, 1952 : 23).

Tout particulièrement, les divers corps cellulaires parviennent à maintenir leur structure en synchronisant mutuellement leurs rythmes électrochimiques, certains champs d'oscillation cellulaire ainsi constitués parvenant d'ailleurs à générer et maintenir une seule et même cadence fonctionnelle. Le cœur constitue un cas exemplaire de synchronisation cellulaire : son activité pulsatile est dictée par le nœud sinusal, système oscillant composé d'environ 10 000 cellules; à la différence des autres cellules cardiaques, chacune de ces

cellules présente sa propre activité électrique parfaitement régulière, et l'activité nodale résulte de la synchronisation de ces milliers d'oscillations autonomes, laquelle permet la circulation optimale du sang.

Why do we need so many of these cells, if one can do the job by itself? Probably because a single lead is not a robust design – a leader can malfunction or die. Instead, evolution has produced a more reliable, democratic system in which thousands of cells collectively set the pace. Of course, democracy raises its own problems: Somehow the cells have to coordinate their firings; if they send conflicting signals, the heart becomes deranged (Strogatz, 2003: 15-16).

La synchronisation régit également la dynamique organique : bien que leurs fonctions respectives soient différentes, les différents organes du corps d'un organisme doivent néanmoins synchroniser leur activité afin d'assurer un bon fonctionnement métabolique, de la même manière que les divers musiciens d'un orchestre, bien que leurs partitions soient différentes, doivent obéir à un cadre métrique commun dans le but de maintenir la cohésion de l'ensemble.

Enfin, toute cette architecture rythmique est subordonnée à un vaste champ de synchronisation écologique. Cet ajustement à la rythmicité ambiante, dominée par le cycle quotidien et annuel de la lumière solaire, répond à un principe d'efficacité énergétique.

L'activité biologique cyclique (...), qui existe depuis les bases moléculaires de la vie jusqu'aux fonctions physiologiques les plus intégrées, constitue un incontestable avantage adaptatif puisqu'elle permet à l'organisme de présenter un fonctionnement en constante harmonie avec les variations, journalières ou saisonnières de l'environnement (Boissin et Canguilhem, 2003 : 26).

En ce sens, la dynamique métabolique de la vie repose fondamentalement sur deux cadences distinctes, les cadences nyctémérale et annuelle, respectivement basées sur la synchronisation des horloges biologiques à l'alternance du jour et de la nuit ainsi qu'à celle des saisons.

1.2.1 La cadence nyctémérale

Le terme « circadien » (de *circa*, « autour » et *dies*, « jour »), proposé pour la première fois par Franz Halberg en 1959, réfère aux variations métaboliques dont la fréquence naturelle, généralement située entre 20 heures et 28 heures, parvient à se

synchroniser au nyctémère et à sa période de 24 heures par accélération ou retard de fréquence. En ce sens, « les rythmes circadiens sont comme des montres qui avanceraient ou retarderaient régulièrement et dont le mécanisme a constamment besoin d'être réglé » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 68).

Tous les campeurs le savent bien, les moustiques se réveillent chaque jour au crépuscule. Mais placés dans un laboratoire, sous une température et une lumière constantes à l'abri de l'alternance du jour et de la nuit, ils s'avèrent posséder un cycle interne non de vingt-quatre mais de vingt-trois heures. Toutes les vingt-trois heures, ils se mettent à bourdonner avec une particulière intensité. À l'extérieur, leur rythme se maintient grâce à la décharge de lumière qu'ils reçoivent chaque jour : ils remettent ainsi leur pendule à l'heure (Gleick, 1991 : 358).

De nos jours, plus de 180 variations métaboliques analogues ont été identifiées chez l'homme, notamment au niveau de la température corporelle, du système nerveux (attention, calcul mental, coordination motrice, mémoire), de la force musculaire, des excréctions urinaires (potassium, sodium, magnésium, phosphate des 17-cétostéroïdes, etc.), des mitoses, des variations de volume du foie et de sa teneur en sucre, de la composition du sang, de la sécrétion de certaines hormones ainsi que de la susceptibilité à différents produits. Toutes ces oscillations circadiennes participent par le biais d'avances ou de retards de phase à un gigantesque champ de synchronisation nyctémérale; à vrai dire, toute tentative de synchronisation au-delà ou en-deçà d'un certain seuil est non seulement vouée à l'échec, mais peut même nuire au plein développement de l'organisme.

On a ainsi cultivé des tomates sur des cycles très divers de 8 à 48 heures en maintenant une égale quantité de lumière et d'obscurité. Pour des cycles de 20 à 30 heures, le développement était normal, mais aux autres périodes les plantes étaient endommagées (croissance ralentie, jaunissement des feuilles) (Fraisie, 1974 : 31).

Relativement flexibles, les rythmes circadiens n'en sont pas moins robustes pour autant, pouvant persister en l'absence de toute rythmicité ambiante. Par exemple, les oiseaux vivant au-delà du cercle polaire maintiennent leur rythmicité circadienne l'été, en dépit d'un éclairage constant durant plusieurs mois. Les rythmes circadiens persistent même au-delà des générations par le biais de la transmission héréditaire : dès 1935, Erwin Bünning découvre que dans des conditions constantes et sous un éclairage constant, des mouches drosophiles persistent à sortir de leur cocon vers le coucher du soleil pendant 15 générations; dans la

même veine, Browman découvre en 1952 que des rats maintenus sous un éclairage permanent maintiennent leur dynamique circadienne pendant 25 générations; enfin, pour prendre un cas extrême, certains animaux cavernicoles vivant en conditions constantes depuis plus de 25 000 générations parviennent à conserver un rythme circadien malgré leur isolement (Fraisse, 1974 : 33; Robert, 1989 : 193).

En dépit du caractère génétique de l'oscillation circadienne, « les nouveau-nés de l'Animal (...) ne présentent pas, en général, de rythmes circadiens » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 97) : la dynamique d'un organisme ne se développe que tranquillement à partir de la vie fœtale et suivant un programme génétique propre à chaque espèce. Dans le cas particulier de l'homme, son activité métabolique à la naissance est polyphasique; l'apparition de l'organisation circadienne ne s'effectue que parallèlement à la maturation du système nerveux central dès les premières semaines de gestation.

Dès la 21^e semaine de gestation, une alternance d'activité et de repos moteur est présente. Les battements cardiaques apparaissent entre la 7^e et la 9^e semaine, les mouvements oculaires rapides caractéristiques du sommeil paradoxal vers la 19^e semaine. Chacun des paramètres physiologiques a d'abord sa propre périodicité, puis leur synchronisation permet progressivement la mise en place d'une organisation comportementale cyclique qui est acquise à l'âge du terme, entre 38 et 40 semaines (Lecomte et Lambert, 1990 : 34).

À la naissance, l'organisme humain présente trois états de veille distincts : « la veille, le sommeil agité (qui deviendra en partie le sommeil paradoxal) et le sommeil calme (sommeil à ondes lentes) » (Lecomte et Lambert, 1990 : 34); chacune de ces phases s'organise en fonction des tétées, selon un rythme ultradien de quatre heures. Le sommeil nocturne commence à s'imposer sur le sommeil diurne dès la première semaine de vie. Le rythme circadien de la température corporelle apparaît à la fin du premier mois. Parallèlement à ce développement circadien progressif des rythmes biologiques, « toutes les fonctions d'un même organe ne développent pas simultanément une périodicité de 24 heures » (Attali, 1982 : 276); par exemple, dans le cas du rein, l'apparition du rythme circadien d'excrétion du potassium et du sodium précède celle des phosphates et de la créatine.

L'organisation circadienne est totalement achevée vers l'âge de 4 à 5 ans, lorsque la phase d'activité n'est plus interrompue par la sieste et que la durée totale du sommeil est comprise entre 8 et 10 heures (Boissin et Canguilhem, 2003 : 98).

Bien qu'un tel développement phylogénétique soit de nature endogène, les conditions écologiques de maturation sont toutefois d'une importance considérable dans le bon déroulement du processus. Le cas des troubles cognitifs et de mauvaise organisation des cycles de sommeil chez les enfants prématurés le démontre d'ailleurs fort bien.

Lorsqu'on constate que le bébé prématuré séjourne 24 heures sur 24, pendant plusieurs semaines, dans un incubateur dans lequel règne un bruit constant de 40 à 90 db, qu'il est isolé des stimulations extérieures telles que les voix ou les caresses, et qu'il ne peut percevoir d'alternance jour-nuit car le plus souvent, pour des raisons évidentes de sécurité, l'éclairage est constant, on est en droit de se dire que l'environnement est à la fois agressif et peu susceptible de favoriser la perception des synchroniseurs indispensables à la mise en place des rythmes biologiques (Lecomte et Lambert, 1990 : 43-44).

Bien qu'une fois le développement de l'organisme complété, l'architecture circadienne tende à se maintenir jusqu'à la mort, le métabolisme n'en est pas moins sujet à d'importantes fluctuations rythmiques au cours de la vie. Par exemple, durant la puberté, la croissance ainsi que de nombreuses et importantes transformations métaboliques retardent l'organisation circadienne d'un organisme, ce qui explique pourquoi les adolescents se couchent et se lèvent plus tard que les enfants et les adultes. De plus, le processus de vieillissement entraîne une avance de phase de l'horloge biologique, d'où le fait que les personnes âgées se lèvent et se couchent généralement plus tôt que la moyenne de la population (Strogatz, 2003 : 71). Ces exemples de déphasage, tout en mettant en évidence l'importance du rythme dans la maturation du corps humain, permettent également de mettre en évidence une dimension importante de l'étude de l'organisation rythmique de la vie, nommément la désynchronisation de l'organisation circadienne relativement au cycle nyctéméral.

1.2.1.1 La cadence perdue et la cadence retrouvée

À l'instar de tout système homéostatique, le métabolisme « pardonne beaucoup d'écarts par rapport à son état d'équilibre, mais seulement tant qu'il demeure à l'intérieur de ses capacités de régulation » (Blanc, 1991 : 176). Dans le cas de la matière vivante, il y a désynchronisation lorsque le décalage fréquentiel entre un oscillateur biologique et ses synchroniseurs usuels excède les capacités autorégulatrices du premier. De nos jours, les dérèglements rythmiques dus à des vols transmériidiens et des rotations de quarts de travail

constituent les cas de désynchronisation les mieux connus et les plus étudiés expérimentalement.

Les travailleurs effectuant un travail posté ainsi que les équipages et les passagers des vols transméridiens sont soumis, soit de façon clinique chez les professionnels, soit de façon occasionnelle chez les voyageurs, à des ruptures de la synchronisation entre les rythmes biologiques et l'environnement. La **désynchronisation externe** qui en résulte est la conséquence de la modification profonde de l'angle de phase existant entre les variations périodiques de l'environnement et les rythmes biologiques (Boissin et Canguilhem, 2003 : 272).

Dans le cas de la désynchronisation causée par un vol transméridien, phénomène mieux connu sous le nom de « décalage horaire » ou « *jet lag* », le transfert rapide des voyageurs à une autre heure locale soumet leur métabolisme à un environnement nycthéral et social en avance (vol vers l'est) ou en retard (vol vers l'ouest) comparativement au méridien d'origine.

L'intensité des troubles dépend du sens du vol, du nombre de fuseaux horaires traversés et de l'âge du sujet. (...) Des expériences de vol simulé en bunker au cours desquelles la fatigue et le stress ne sont plus des éléments susceptibles d'être pris en considération, jointes aux observations effectuées sur les équipages et les passagers effectuant un trajet transparrallèle de 6 ou 7 heures dans le sens nord-sud ou sud-nord où les effets du décalage horaire sont supprimés, permettent de constater qu'une partie des troubles observés est effectivement due au déphasage de la structure circadienne (Boissin et Canguilhem, 2003 : 273).

La rotation des quarts de travail s'est pour sa part rapidement instaurée dans le monde industriel suite à l'invention de la lumière électrique par Thomas Edison en 1879 ainsi qu'au développement du taylorisme, prônant l'utilisation continue des machines industrielles afin d'en maximiser la longévité.

Depuis un siècle environ, certaines méthodes d'organisation des horaires de travail, destinées à permettre une utilisation maximale des installations techniques, ont conduit à répartir le temps de travail selon un nouveau mode (travail posté, en quarts, en équipes alternantes) qui contraint certains travailleurs à se désynchroniser de leur environnement physique et social (Boissin et Canguilhem, 2003 : 250-251).

Tout comme les vols transméridiens, les troubles causés par la désynchronisation due au travail posté est inévitable, car cette organisation horaire du travail constitue une nécessité pour de nombreux secteurs professionnels essentiels au bon fonctionnement de la société, par exemple dans le milieu de la santé, de la sécurité et des transports.

Dans le cas des travailleurs postés, les troubles ont une double origine. Ils sont la conséquence de la désynchronisation répétée qui résulte d'un changement fréquent d'horaire de travail, et donc d'un changement de rythme de vie (travail de nuit en poste fixe, travail alternant ou trois fois huit à rotation induisant soit une avance, soit un retard de phase). Mais ils résultent aussi du fait que les sujets peuvent être amenés à effectuer des tâches nécessitant un niveau de vigilance élevé alors que, en fonction de l'heure de la journée, les performances psychomotrices sont réduites. Or la catégorie socio-professionnelle concernée par ce problème est importante car le travail posté touche environ 20% de la population active dans les pays industrialisés (Boissin et Canguilhem, 2003 : 275).

Parallèlement aux vols transméridiens et à la rotation des quarts de travail, le passage de l'heure d'été à l'heure d'hiver et inversement provoque également une désynchronisation métabolique analogue, bien que les effets physiopathologiques d'un tel dérangement soient comparativement négligeables.

Le passage de l'heure d'hiver à l'heure d'été s'effectue en avançant les montres d'une heure (à 3 heures, il est 4 heures le jour du passage à l'heure d'été). Ce changement induit une avance de phase, il impose une journée de 23 heures et diminue d'une heure la durée de sommeil. Inversement, lors du passage de l'heure d'été à l'heure d'hiver, à 3 heures, il est nécessaire d'afficher 2 heures. Du retard de phase ainsi provoqué résulte donc une journée de 25 heures et la durée du sommeil est augmentée d'une heure. Dans la mesure où la période endogène des rythmes biologiques est supérieure à 24 heures chez l'Homme (24h42 en moyenne), on comprend que le déphasage qui induit une « journée » de 25 heures (passage de l'heure d'été à l'heure d'hiver) soit moins désagréablement perçu que celui qui induit une « journée de 23 heures » (passage de l'heure d'hiver à l'heure d'été) (Boissin et Canguilhem, 2003 : 274).

Dans tous ces cas, l'organisme se voit contraint de se resynchroniser, autrement dit d'entrer dans la nouvelle cadence horaire en avançant ou retardant ses horloges biologiques. De nombreuses études ont démontré qu'il est plus facile pour un organisme de se resynchroniser en retardant son activité métabolique, par exemple suite à un vol vers l'ouest ou suite à un changement de quart de soir à un quart de nuit, plutôt qu'en l'accélégrant, soit suite à un vol vers l'est ou à changement de quart de nuit à un quart de soir.

Peu importe le mode de resynchronisation, un tel processus demande un effort énergétique considérable : « des collaborateurs de J. Aschoff ont montré que la durée de vie de certains insectes se raccourcissait considérablement si on les contraignait à modifier à plusieurs reprises leur rythme circadien » (Lorenz, 1997 : 295). Ce coût énergétique exorbitant de la resynchronisation ne serait pas tant dû aux avances et aux retards de phase en

tant que tels qu'à la désynchronisation métabolique qu'il entraîne. En 1971, Alain Reinberg démontre que pour un même organisme, « la remise à l'heure n'est pas la même d'une fonction physiologique à l'autre » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 272-273) : ainsi, il faut de 1 à 3 jours pour resynchroniser le rythme veille sommeil et jusqu'à trois semaines pour que les rythmes endocriniens retrouvent leur cadence au cycle nyctéméral. La resynchronisation de la température centrale et de l'activité rythmique générale d'un organisme demande encore plus de temps : une étude de Toulouse et Piéron a permis de découvrir que le rythme thermique d'infirmières passant d'un service diurne à un service nocturne ne parvient à s'ajuster qu'au bout d'un mois (Fraisse, 1974 : 28).

Or, dans la perspective où chaque variation biologique se resynchronise à son propre rythme, « il découle de ces différences une nouvelle perturbation qui résulte du découplage des rythmes entre eux » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 272-273). Tout processus de resynchronisation à la cadence nyctémérale entraîne donc nécessairement la désynchronisation du métabolisme lui-même, appelée désynchronisation interne. Cette désynchronisation interne sévit jusqu'à ce que le métabolisme retrouve intégralement la cadence; bien évidemment, plus le déphasage avec le nyctémère est important, plus lente est la resynchronisation des rythmes entre eux et avec le nouvel environnement. Certaines désynchronisations internes résultent toutefois de causes plus sérieuses, par exemple de maladies telles que la dépression, le cancer du sein, de l'ovaire ou de la prostate. Quelle qu'en soit l'origine cependant, un tel dérèglement demeure toujours fort dommageable pour l'organisme, puisqu'il peut causer céphalées, troubles gastro-intestinaux, arthrite rhumatoïdale, ulcère peptique, perturbations menstruelles, pertes d'appétit, insomnie, fatigue, irritabilité ainsi que nombreux troubles cognitifs.

Une étude compare le personnel navigant sur des vols de longue durée (plusieurs fuseaux horaires et peu de repos) à un personnel navigant non exposé à de tels stress. Elle permet de noter une baisse plus rapide des capacités cognitives du premier équipage. L'imagerie cérébrale a même révélé un « rétrécissement » de l'hippocampe dans le cerveau des navigants au long cours. Or, l'hippocampe joue un rôle important dans la mémoire, ce qui explique en partie la baisse de performance des fonctions cognitives chez ces personnes (Robert, 2002 : 147-148).

Des études ont toutefois démontré qu'un régime de vie actif basé sur le nouveau rythme horaire permet d'accélérer le processus de resynchronisation et ainsi amoindrir les effets néfastes de la désynchronisation interne.

L'importance de l'activité physique dans la resynchronisation est attestée par des expériences récentes effectuées chez l'animal. Il a été ainsi montré qu'en contraignant des hamsters dorés, soumis à une avance de phase de 8 heures, à courir pendant 3 heures dans une roue actographique, la resynchronisation se réalise en 36 heures en moyenne alors que la durée normale est de 7 jours chez les témoins libres de choisir leur activité (Boissin et Canguilhem, 2003 : 278).

Il a également été découvert que la mélatonine, hormone sécrétée par la glande pinéale, joue un rôle important « dans la resynchronisation de la structure circadienne après un déphasage brutal, c'est-à-dire une variation subite de la durée des phases claire ou sombre du régime photopériodique » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 281). En effet, l'administration orale de cette hormone a pour effet de provoquer « des avances et des retards de phase qui sont de sens opposés à ceux obtenus après modification de l'environnement photopériodique » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 277), ce qui permet d'accélérer le processus de resynchronisation.

Ces diverses répercussions énergétiques entourant les processus de désynchronisation et de resynchronisation soulignent l'importance vitale pour un organisme de maintenir sa dynamique circadienne en cadence avec le cycle nyctéméral. Deux mécanismes particuliers jouent un rôle déterminant dans cette activité de cadencement : le photopériodisme et le thermopériodisme.

1.2.1.2 La cadence photique

Depuis la célèbre expérience de Pyramus de Candolle, dans laquelle le chercheur est parvenu à inverser le rythme foliaire circadien de la sensitive en manipulant progressivement l'alternance lumière-obscurité, l'entraînement photique est devenu l'un des principaux objets d'étude de la chronobiologie. L'un des cas les plus intéressants de ce phénomène porte sur le rythme de vie des aveugles : incapables de remettre leur pendule métabolique à l'heure par le biais de la lumière, 80% d'entre eux ne peuvent maintenir la cadence avec le nyctémère : leur rythmes thermique, de veille ainsi que de sécrétion de cortisol et de mélatonine varient

selon leur fréquence naturelle, légèrement supérieure à 24 heures; un tel retard fréquentiel s'accroît au fil des jours, jusqu'à ce que le décalage de phase entre ces rythmes et l'ensemble de l'activité métabolique soit trop important pour qu'il puisse y avoir entraînement. Ainsi, une personne aveugle peut vivre en cadence avec le cycle nyctéméral durant une semaine ou deux, pour ensuite tomber « hors cadence » pour une durée de deux à trois semaines, dormant le jour et vaquant à leurs occupations quotidiennes la nuit.

Pourtant, une part non négligeable de la population aveugle (environ 20%) parvient à maintenir la cadence nyctémérale. S'intéressant à ce curieux phénomène, Charles Czeisler entreprend de mesurer le taux de sécrétion de mélatonine de sujets aveugles lors de l'exposition à une lumière intense. Or, seul le taux de mélatonine des aveugles aptes à maintenir la cadence est modifié par cette exposition lumineuse; leur yeux, incapables de voir, leur permettent néanmoins de se synchroniser au nyctémère. Ces résultats, conjointement à la découverte en 1969 et 1972 d'une voie nerveuse rétino-hypothalamique distincte de la voie visuelle chez les oiseaux et les mammifères, semblent confirmer l'hypothèse, déjà mise de l'avant au début du siècle dernier, d'un effet physiologique non visuel de la lumière.

Selon E. Scharer, si la lumière peut directement avoir un rôle physiologique chez les organismes unicellulaires, en revanche, celui-ci ne peut se maintenir chez tous les autres êtres vivants que grâce à l'apparition, au cours de l'évolution, d'un mécanisme particulier forcément complexe, et différent de celui de la vision. Karl Von Frisch découvrit l'existence en 1911 d'un tel mécanisme qu'il nomma « photoréception extra-oculaire » en étudiant le contrôle photique de la pigmentation cutanée d'un poisson, le Vairon (Boissin et Canguilhem, 2003 : 212-213).

Cette photoréception serait d'une importance cruciale tant au niveau de la photorégulation des diverses fonctions physiologiques que de la synchronisation de la dynamique métabolique au rythme photique. D'ailleurs, toutes les structures jouant un rôle dans la synchronisation photique sont situées près de l'œil.

Chez les Vertébrés, quatre organes, l'œil, les photorécepteurs profonds, la glande pinéale et les noyaux suprachiasmatiques de l'hypothalamus antérieur, paraissent jouer, seuls ou en association ce rôle d'oscillateur central et l'on constate qu'au fur et à mesure que l'on s'élève dans la série animale, l'hypothalamus prend une place de plus en plus importante (Boissin et Canguilhem, 2003 : 138).

Pour l'ensemble des espèces infra-aviennes, la photorégulation est l'œuvre du complexe pinéalien : chez les poissons, il s'agit de la glande pinéale et l'organe parapinéal, la lumière atteignant le complexe pinéalien en traversant les os du crâne; chez les amphibiens, il s'agit de la glande pinéale et de l'organe frontal; chez les reptiles enfin, ce complexe comprend la glande pinéale et l'organe pariétal.

La photorégulation chez les mammifères ne relève toutefois pas de la glande pinéale, mais du fonctionnement des noyaux suprachiasmatiques, structure hypothalamique paire située au croisement des nerfs optiques. Dès le début du 20^e siècle, les docteurs remarquent que des patients atteints de tumeurs dans la région de l'hypothalamus souffrent d'irrégularités liées au cycle du sommeil. Également, dans une série d'expériences visant à situer le centre rythmique des mammifères, le biologiste Curt Richter, de l'université John Hopkins, aveugle systématiquement des rats pour ensuite leur retirer glandes adrénalines, pituitaires, thyroïdes et gonades; aucune de ces interventions n'alterne les rythmes en libre cours de l'animal. Sectionnant ensuite différentes régions du cerveau de l'animal pour vérifier si certaines lésions entraînent une perturbation rythmique, Richter s'aperçoit alors qu'une lésion à la partie postérieure de l'hypothalamus abolit la cadence nyctémérale du rat (Moore-Ede *et al.*, 1982).

En 1972, la parution de deux publications, l'une de F.K. Stephan et Irving Zucker et l'autre de Robert Y. Moore et V.B. Eichler confirment ce rôle de l'hypothalamus dans la synchronisation photique des mammifères : abordant respectivement le contrôle du rythme de l'activité générale locomotrice et celui de la fonction corticosurrénalienne, ces deux études découvrent que la destruction du noyau suprachiasmatique conduit à l'abolition des deux rythmes en question.

Il fut démontré chez un grand nombre d'espèces (Rat, Souris, Hamster, Vison, Singe-écureuil, etc.), quelle que soit la fonction considérée (activité générale locomotrice, veille-sommeil, comportement alimentaire et dipsique, température corporelle, rythmes neuroendocriniens et endocriniens, y compris le rythme de la sécrétion de mélatonine ou bien la variation journalière de la photosensibilité circadienne impliquée dans le contrôle photopériodique de la reproduction, etc.), que la destruction électrolytique des noyaux suprachiasmatiques, aboutissait à la disparition de la rythmicité circadienne (Boissin et Canguilhem, 2003 : 147).

De petit volume (1 à 2 mm³ chez le Rat), composé de 8 000 à 10 000 petits neurones générant collectivement un signal électrique d'une période de 24 heures, le NSC constitue un oscillateur aussi régulier et fiable que le nœud sinusal du cœur : David Welsh et Steve Reppert ont découvert que les cellules des neurones du NSC, lorsqu'isolées les unes des autres et séparées de l'organisme, continuent leur activité rythmique durant plusieurs semaines (Strogatz, 2003 : 69).

Le noyau suprachiasmatique joue un rôle essentiel dans la synchronisation du métabolisme des mammifères au nyctémère : sa stimulation électrique régulière permet l'ajustement de nombreux rythmes biologiques; sa destruction ou son inhibition par des substances anti-sérotonine cause la disparition de certains cycles biologiques, par exemple ceux de la température corporelle et du comportement alimentaire; inversement, la greffe d'un NSC provenant d'un fœtus de la même espèce animale permet de restaurer les cycles abolis, voire même d'imposer les rythmes du donneur. (Boissin et Canguilhem, 2003 : 147).

Toutefois, la photorégulation incombant au NSC ne détermine pas intégralement la synchronisation nyctémérale du métabolisme des mammifères. Si la destruction des deux noyaux suprachiasmatiques entraîne la suppression de la plupart des activités rythmiques circadiennes, elle n'empêche toutefois pas « l'entraînement du rythme du fonctionnement corticosurrénalien et de la température, du comportement dipsique ou du rythme de la corticostéronémie par des facteurs environnementaux non photopériodiques » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 149). Ces expériences semblent donc suggérer qu' « il existe, à côté des noyaux suprachiasmatiques, un autre mécanisme susceptible de générer une activité cyclique » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 148).

Une expérience menée par Charles Czeisler en 1995 est fort révélatrice à cet égard : l'auteur découvre alors que l'effet synchroniseur de la lumière sur le métabolisme s'effectue par l'intermédiaire du rythme thermique de l'organisme : la lumière accélère l'horloge circadienne lors de la montée thermique du métabolisme, tandis qu'elle ralentit le métabolisme lors du déclin de la température corporelle (Czeisler, 1995). C'est donc conjointement au thermopériodisme que le photopériodisme permet à un organisme de

calibrer son activité métabolique au rythme journalier de la lumière et ainsi maintenir la cadence nycthémerale.

1.2.1.3 La cadence thermique

L'étude du thermopériodisme a certes une longue histoire : les premières expériences et observations relatives à la variation journalière de la température datent d'il y a plus de 300 ans.

Dès 1797, Christoph Wilhelm Hufeland, tout d'abord, remarque que la température corporelle est plus élevée le soir que le matin chez le sujet normal ou fébrile et pense même que les changements induits par la rotation de la Terre ont imprimé ce rythme à l'organisme. Il parle aussi de l'existence, chez l'Homme, d'une véritable horloge interne. Plus tard, les médecins et physiologistes allemands, tels Jaeger en 1881, décrivent à nouveau le rythme nycthémeral de la température et montrèrent qu'il peut se décaler selon l'activité nocturne ou diurne des sujets. Des travaux effectués chez l'animal par E. Maurel à la même époque permirent de prouver qu'il était possible d'inverser le cycle des alternances lumière-obscurité. Quelques années plus tard, en 1907, E.T. Toulouse et Henri Pierron arrivèrent aux mêmes conclusions en étudiant le cycle nycthémeral de la température chez les travailleurs effectuant un travail nocturne (Boissin et Canguilhem, 2003 : 20-21).

Pour l'ensemble des organismes diurnes, le minimum thermique se situe entre 3 et 5 heures du matin et la valeur maximale, supérieure d'environ 0,45 °C, est atteinte entre 20 et 21 heures. Le thermopériodisme joue un rôle de premier plan dans la régulation du sommeil : lors d'une série d'expériences d'isolation temporelle menées au milieu des années 70, Elliot Weitzman et Charles Czeisler découvrent qu'en situation de désynchronisation interne, la durée du sommeil continue à être déterminée par le cycle thermique : les sujets étudiés se réveillent presque toujours au moment où la température corporelle, la sécrétion de cortisol et l'attention augmentent, de sorte que des sommeils débutant à température élevée durent en moyenne 15 heures, tandis que des sommeils débutant à basse température durent en moyenne 8 heures.

De nombreuses fonctions nerveuses, dont la mémoire à court-terme et la sécrétion de la mélatonine, sont rythmiquement verrouillées sur le rythme thermique de la température corporelle. Ainsi, il y a une trentaine d'années, des médecins se sont aperçus que la vitesse à

laquelle un individu compte (un, deux, trois, etc.) dépend de la température du corps : plus la température augmente, plus la vitesse augmente (Robert, 1989 : 176-177).

L'attention suit également un rythme thermopériodique. En demandant à des sujets d'évaluer leur niveau d'attention à différents moments de leur cycle de température, Czeisler et Weitzmann se sont aperçus que l'attention varie en cadence avec la température corporelle. Or, le fait que l'attention soit minimale en même temps que la température corporelle, soit entre 3 heures et 5 heures du matin, est fort révélateur : toutes les catastrophes récentes de l'humanité sont dues à des erreurs s'étant produites à ce moment du cycle : Bhopal, Challenger, Three Mile Island, Chernobyl, *Exxon Valdez*. Durant cette période particulièrement pénible de la nuit, également appelée « zone zombie », les travailleurs prennent plus de temps à répondre au téléphone, à un signal d'alarme ou effectuent davantage d'erreurs de concentration (Moore-Ede *et al.*, 1982). Le travail de nuit pose donc d'énormes problèmes aux sociétés industrialisées, en contraignant l'homme à mener un rythme de vie opposé non seulement à celui de la lumière, mais également à celui de son propre corps.

Ainsi, par le biais de la photorégulation et de la thermorégulation, résultat de milliers d'années d'évolution phylogénétique, tout organisme parvient à ajuster son métabolisme circadien au rythme de la lumière et ainsi maintenir la cadence nyctémérale. C'est d'ailleurs par le biais de processus analogues d'oscillation et de synchronisation que l'évolution a permis à la matière vivante de maintenir une autre cadence, tout aussi fondamentale et de plus longue période : l'année solaire.

1.2.2 La cadence annuelle

Alors que le jour solaire constitue la contrainte évolutive à la base du développement de l'activité métabolique et de la photorégulation circadiennes, l'année solaire est à l'origine de divers processus phylogénétiques permettant de « mettre le fonctionnement de l'organisme en adéquation avec les variations saisonnières de l'environnement » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 247). Une telle synchronisation « écosaisonnaire » s'avère essentielle au maintien de la balance énergétique et à la survie de l'espèce, tout particulièrement en ce qui a trait au processus reproducteur : l'évolution a en effet permis aux organismes de se reproduire en

cadence avec le rythme des saisons, et ce « afin que les jeunes naissent quand les conditions climatiques et trophiques, au printemps dans les régions tempérées, (soient) les plus favorables à leur survie » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 105).

Au cours du déroulement du cycle annuel de la fonction de reproduction, la reprise de l'activité sexuelle constitue un événement déterminant. Pour une espèce donnée, elle doit, en effet se produire chaque année à une date bien précise afin que (...) les manifestations comportementales liées à la reproduction (territorialisme, appariements, etc.) et la période de gestation, dont la durée varie d'une espèce à l'autre, les naissances aient lieu au moment le plus propice à la survie des jeunes (Boissin et Canguilhem, 2003 : 201).

Cet ajustement métabolique à l'alternance des saisons ainsi qu'à ses nombreuses conséquences écologiques est déterminé par les conditions climatiques propres à chaque écosystème.

À l'exception des régions désertiques qui présentent des variations climatiques et trophiques aléatoires dans le temps et dans l'espace, ou encore des zones forestières humides s'étendant de part et d'autre de l'équateur au sein desquelles la température, la pluviosité et la biomasse consommable sont pratiquement constantes durant l'année, tous les habitats terrestres présentent un environnement qui fluctue saisonnièrement (Boissin et Canguilhem, 2003 : 161).

Pour les zones polaires et tempérées, c'est au printemps et au début de l'été que les problèmes d'énergie sont moindres, faisant de cette période un moment de naissance privilégié pour la plupart des espèces; « durant le reste de l'année, la reproduction serait vouée à l'échec en raison du manque de disponibilités alimentaires et de la rigueur des conditions climatiques » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 165). De plus, en raison de la rigueur particulière de l'hiver, l'évolution a entraîné le développement de stratégies adaptatives particulières à ces climats.

C'est en été et en automne que l'on constate chez beaucoup d'espèces, hibernantes ou non, un engraissement important. C'est à la fin de l'été également que se déclenche le comportement migratoire ou que s'achève la préparation métabolique qui permettra à l'hibernant d'entrer en léthargie hypothermique au moindre abaissement de la température extérieure ou parfois même avant que la température extérieure ne diminue. C'est, enfin, au cours de l'été que s'installe le repos sexuel chez les Oiseaux migrateurs et certains Mammifères, les hibernants en particulier (Boissin et Canguilhem, 2003 : 164).

Pour les climats méditerranéens, l'automne constitue une « bonne saison » : les températures sont clémentes et les disponibilités alimentaires importantes; en revanche, l'aridité de la période estivale a favorisé au fil des générations le développement de stratégies adaptatives particulières, dites d'estivation.

Si (...) l'hibernation permet à certains mammifères vivant dans les régions septentrionales de supporter des températures trop basses ou des disponibilités alimentaires trop faibles, le phénomène d'estivation (...) protège les animaux de petite taille contre l'agressivité des températures élevées et de la sécheresse (Boissin et Canguilhem, 2003 : 163).

Les régions tropicales entourant les forêts équatoriales représentent pour leur part un cas tout à fait particulier : alors que sous les climats précédents, les mécanismes d'adaptation développés par l'évolution consistent essentiellement à maintenir la balance énergétique et faire naître les jeunes au printemps, les organismes vivant en milieu tropical doivent également maintenir la balance hydrique; pour répondre à ce besoin particulier, la période de reproduction de la plupart des espèces vivant dans ces zones est centrée sur les saisons humides (une ou deux, selon les régions). Également, en raison de la transition extrêmement rapide entre les diverses saisons, la préparation métabolique des organismes y est d'autant plus importante que dans les autres régions du globe.

En somme, dans la plupart des régions de la planète, les espèces se sont vues contraintes de s'adapter aux fluctuations énergétiques particulières à chaque écosystème. Pour palier à ces contraintes énergétiques annuelles, l'évolution a favorisé le développement progressif d'une architecture rythmique circannuelle servant en quelque sorte de préparation métabolique aux variations saisonnières.

1.2.2.1 La rythmicité circannuelle

En 1967, Franz Halberg a désigné par le terme « circannuel » tout rythme intégré au niveau du génome et maintenant en environnement constant une période d'environ 365,25 jours. Confirmés pour la première fois en 1955 au niveau de l'activité testiculaire du canard domestique, les rythmes circannuels ont pour fonction essentielle d'amortir les trop grandes variations climatiques en anticipant les conditions saisonnières favorables et défavorables à la survie. Cette fonction adaptative des rythmes circannuels est particulièrement évidente « chez

les espèces qui dépendent fortement d'une programmation annuelle précise pour assurer leur survie, telles les espèces arctiques ou montagnardes vivant en environnement hostile » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 185).

Les activités physiologiques limitées à une seule période de l'année, reproduction ou hibernation par exemple, ne peuvent débiter instantanément. Leur déroulement exige, en effet, une longue préparation endocrinienne, métabolique ou même comportementale (Boissin et Canguilhem, 2003 : 166).

Dans le cas particulier de l'hibernation, sa réalisation nécessite la mise au repos des glandes endocrines, une action spécifique du système nerveux central ainsi que l'intervention de facteurs écologiques tels que la température.

Chez les hibernants qui passent l'hiver coupés du monde extérieur dans leurs terriers parfois recouverts de neige, un rythme circannuel est le seul moyen de garantir que la sortie des terriers et la reproduction qui la suit immédiatement dans le temps s'effectueront au moment propice. Pareillement, un rythme commandant la rentrée dans les terriers à la fin de l'été prévient contre les dangers, pour la survie de l'espèce, d'une chute de neige inopinée. Ce n'est pas par hasard (...) si l'endogénie des rythmes est plus marquée chez les espèces vivant en terrier (Spermophiles, Marmottes, Hamsters d'Europe) que chez celles vivant dans des nids ou des habitations (Hérissons, Loirs, Lérôts) (Boissin et Canguilhem, 2003 : 193).

Chez l'homme, peu d'études portant sur les rythmes circannuels ont été effectuées, principalement pour des raisons de faisabilité : « il serait effectivement difficile sur un plan éthique d'admettre que des humains vivent en isolement temporel complet pendant plus d'un an pour la seule étude de l'endogénie des variations physiologiques circannuelles » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 267-268). La plupart de ces études portent essentiellement sur le processus de reproduction. L'une des premières expériences à avoir été menées sur des hommes est celle effectuée par Jean Malaurie dans les années 50 auprès d'une population inuit du District de Thulé au Groenland et vivant à 500 km du pôle Nord. Selon cette étude, plus de la moitié des conceptions se seraient effectuées entre juin et octobre, soit entre la période de l'année où l'éclairage quotidien est permanent et celle où la nuit devient plus longue que le jour. En France, une analyse statistique portant sur dix millions de naissances comptabilisées entre janvier 1968 et décembre 1974 a permis de confirmer l'existence d'un rythme circannuel dont le maximum est situé au printemps (conceptions en été) et le minimum en automne (conceptions en hiver), l'écart entre les deux extrêmes étant de 19%.

Ces résultats s'accordent avec les résultats d'une autre étude menée par Alain Reinberg et Michel Lagoguey, démontrant l'existence d'un rythme de la testostérone dont l'acrophase est situé en été (Boissin, Canguilhem, 2003 : 268).

Une étude plus récente réalisée par Jürgen Aschoff s'est également penchée sur le rythme de la conception; la base de données constituée à cette fin est toutefois sans commune mesure avec celles des études précédentes.

T. Roenneberg et J. Aschoff (1990) ont recherché le rythme des naissances à partir de données recueillies de la fin du XVIIIe siècle à nos jours, provenant de toutes les régions du globe, concernant des populations urbaines aussi bien que rurales, touchant toutes les races, un grand nombre d'ethnies et représentant environ 3 300 années (Boissin et Canguilhem, 2003 : 268).

En soustrayant systématiquement neuf mois pour toutes les dates recueillies, cette étude a permis de découvrir l'existence de deux rythmes de conception distincts : le premier, retrouvé en Europe de l'Ouest et au Japon, est annuel et présente un maximum au printemps; le second, caractéristique des pays d'Amérique du Nord et de l'Europe de l'Est, est pour sa part bimodal, présentant un pic principal au printemps et un second, de moindre amplitude, en automne. Pour les deux rythmes, une recrudescence des conceptions a été observée autour du solstice d'hiver. Une étude similaire et très significative a également permis de démontrer que le rythme des naissances dans l'hémisphère nord est en rapport exactement inverse avec celui de l'hémisphère sud.

À la lumière de ces nombreuses expériences et observations, l'évolution a favorisé le développement d'un vaste réseau de fonctions biologiques réglées sur l'année solaire. À l'instar des rythmes circadiens, pareille orchestration n'est toutefois qu'approximative et ne peut suffire à maintenir une cadence parfaite avec les variations saisonnières.

Le phénomène d'internalisation du temps astronomique responsable de l'endogénie des rythmes biologiques, ne peut à lui seul rendre compte du rôle éminemment adaptatif attribué à juste titre aux rythmes biologiques car (...) chez les organismes placés dans des conditions de vie « hors du temps », la période endogène n'est pas rigoureusement égale à un an. De ce fait, la nécessaire remise à l'heure des cycles circannuels doit être considérée comme un phénomène adaptatif tout aussi important que l'endogénie des rythmes biologiques (Boissin et Canguilhem, 2003 : 177).

En ce sens, les rythmes circannuels apparaissent moins comme une organisation rigide des fonctions métaboliques que comme une ébauche approximative du rythme annuel nécessitant une calibration par accélération ou raccourcissement de phase. En d'autres mots, un second mécanisme interne, « inféodé aux variations périodiques du milieu » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 166), est nécessaire dans le but de maintenir la cadence annuelle. Or, à l'instar de la cadence circadienne, c'est par photopériodisme que s'opère cette synchronisation : « la sensibilité des organismes à l'évolution annuelle de la durée de l'éclairement journalier permet aux rythmes biologiques circannuels d'acquérir une période rigoureusement égale à celle du rythme des saisons » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 196). En ce sens, la cadence annuelle résulterait de l'interaction entre une organisation circannuelle génétiquement fixée et un système de régulation photopériodique basé sur la variation annuelle de la durée du jour.

1.2.2.2 La cadence photique (bis)

Dans le cadre de l'étude de la cadence annuelle, le photopériodisme désigne essentiellement « le contrôle qu'exerce la variation de la durée de l'éclairement journalier sur la physiologie des organismes » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 196). L'influence de la variation annuelle de la lumière sur l'activité métabolique de certains organismes est connue depuis longtemps :

Au siècle dernier, en Espagne, les élevages de poules étaient éclairés à la chandelle après le coucher du Soleil durant l'automne ou l'hiver pour prolonger la durée du jour et maintenir ainsi à un niveau élevé la production d'œufs qui s'effondre naturellement quand la durée quotidienne d'éclairement devient trop faible (Boissin et Canguilhem, 2003 : 211).

En 1907, Ernst Schäfer émet l'hypothèse que l'activité migratoire et reproductrice des oiseaux est déterminée par les variations saisonnières de la durée du jour. W. Roman confirme cette hypothèse en 1925 : il démontre que l'allongement de la durée de l'éclairement journalier exerce un effet activateur sur la fonction sexuelle. Du côté de la botanique, Garner et Allard découvrent en 1920 que les différentes phases du cycle phénologique des plantes sont contrôlées par la variation annuelle du nyctémère, mécanisme qu'ils nomment « photopériodisme ». Suite aux expériences menées sur les plantes par

Bünning en 1936 ainsi que celles de Hamner (1963) sur les oiseaux, il est aujourd'hui reconnu que la cadence annuelle est basée sur un rythme circadien de la photosensibilité.

L'ensemble des êtres vivants, des insectes jusqu'aux animaux supérieurs, ont recours au photopériodisme. L'ubiquité de ce mécanisme de calibration annuelle s'explique aisément : « parmi toutes les variables physiques de l'environnement, aucune, en effet, ne procure à l'organisme des signaux récurrents d'une précision et d'une régularité comparables à celles des variations annuelles de la durée du jour » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 167).

Le fait que la photosensibilité soit une caractéristique universellement répandue chez les espèces vivant des latitudes les plus basses aux latitudes les plus élevées constitue, au demeurant, la première preuve manifeste du rôle adaptatif que le photopériodisme est capable d'exercer (Boissin et Canguilhem, 2003 : 246).

En ce qui a trait particulièrement à la photorégulation des diverses activités métaboliques entourant le processus reproducteur, deux grandes catégories de régulation photopériodique peuvent être distinguées : « on classe les espèces en animaux de « jours longs » ou bien de « jours courts » selon que la stimulation sexuelle est déclenchée soit par l'augmentation soit par la diminution de la photopériode » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 105). Le photopériodisme à « jours longs » s'observe « chez les espèces qui s'accouplent au début du printemps et présentent une gestation de courte durée (petits carnivores et Rongeurs, par exemple) ou, inversement, de très longue durée, de 10 à 12 mois (équins, par exemple) » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 203). Dans les deux cas, les naissances ont lieu au printemps, que ce soit la même année pour les espèces dont la gestation est brève ou l'année suivante pour les espèces à longue gestation. La réponse photopériodique de type « jours longs » est pour sa part observée chez deux groupes différents : dans le premier, l'activation sexuelle (stimulation des gonades) débute suivant le solstice d'été et l'accouplement s'effectue en automne (ovins, caprins, cervidés : gestation de 5 à 6 mois); dans le second, la stimulation des gonades commence lorsque la durée du jour devient inférieure à celle de la nuit suivant l'équinoxe d'automne et l'accouplement s'effectue en hiver (Renard, Blaireau, Vison, etc. : gestation de 2 à 3 mois). Ici encore, les naissances ont lieu au printemps. Ainsi, que les animaux soient de type « jours longs » ou « jours courts », le contrôle photopériodique à l'œuvre dans le processus reproducteur est la conséquence à la fois de la succession dans

l'année de l'évolution progressive puis régressive de la durée de l'éclairement journalier, et d'une variation, de nature endogène, de la sensibilité des organismes à la photopériode.

Tant au niveau de la calibration du cycle reproducteur que de celle de l'ensemble de l'activité métabolique circannuelle, la mélatonine joue un rôle fondamental dans l'harmonisation des rythmes biologiques et écologiques assurée par la photorégulation : sa sécrétion par la glande pinéale et sa libération dans l'organisme ne survient que lors de la phase nocturne du nyctémère, la durée de sa sécrétion est donc isochrone à longueur de la nuit.

Les organismes disposent donc, grâce à la sécrétion de la mélatonine qui code de façon inversement proportionnelle à la durée jours, d'un système du temps qui permet de suivre tout au long de l'année les variations progressives ou régressives de la durée de l'éclairement journalier (Boissin et Canguilhem, 2003 : 237).

L'importance de la sécrétion de mélatonine dans le maintien de la cadence métabolique annuelle a favorisé le développement de nombreuses techniques d'élevage visant à exercer un meilleur contrôle sur l'activité métabolique circannuelle de nombreuses espèces domestiques.

La manipulation de l'environnement photopériodique, ou plus simplement les traitements à la mélatonine, constituent aujourd'hui des pratiques courantes qui confèrent une parfaite maîtrise de la reproduction dans le temps chez les espèces (ovins, bovins, caprins ou équins) (...). De la même façon, chez les animaux à fourrure d'élevage, dont les caractéristiques du pelage sont entièrement contrôlées par l'évolution annuelle de la durée de l'éclairement journalier, la mise en place d'implants de mélatonine durant l'été permet de réduire considérablement le coût des élevages. En effet, ce traitement à la mélatonine, qui mime les « jours courts », accélère l'installation du pelage d'hiver (sous-poil dense et jarres développés), le seul utilisable en pelleterie. Il apparaît ainsi durant l'automne avec plusieurs mois d'avance, puisque dans le cas du cycle annuel naturel de la mue, son installation n'est observée qu'en décembre (Boissin et Canguilhem, 2003 : 290).

En conclusion, dans le but de répondre aux besoins énergétiques des espèces et de la vie en général, l'évolution a œuvré de manière à permettre la synchronisation des organismes vivants aux mouvements quotidiens et annuels du soleil ainsi qu'aux fluctuations « écoénergétiques » qui en dérivent. Cette évolution de la cadence s'est essentiellement réalisée par le développement d'une dynamique métabolique reproduisant approximativement le cycle photique nyctéméral et annuel de l'environnement, référant

respectivement aux organisations circadienne et circannuelle, ainsi que d'un mécanisme complexe de photorégulation permettant l'entraînement des rythmes circadiens et circannuels au cycle photique. La matière vivante devient ainsi au fil des générations et des sophistications spécifiques transmises héréditairement un gigantesque réseau d'oscillateurs et de synchroniseurs, une sorte d'horlogerie dans laquelle toutes les horloges se synchronisent mutuellement à la manière des horloges de Huygens. La cadence, principe d'efficacité énergétique, force homéostatique fondamentale de l'univers, constitue donc l'un des premiers moteurs du développement phylogénétique, soutenant ainsi la théorie d'Alfred Russell Wallace selon laquelle l'évolution constitue non pas un processus linéaire et sélectif d'optimisation, mais plutôt une mécanique circulaire d'autorégulation par équilibration.

CHAPITRE II

L'APPRENTISSAGE DE LA CADENCE

Par l'évolution, un organisme parvient à se développer suivant une dynamique spécifiquement et génétiquement déterminée d'autorégulation. Toutefois, en ce qui a trait aux espèces animales, il y a des limites à ce que la génétique permet en termes d'ajustement écosystémique : pour toute situation ambiante nouvelle à laquelle l'évolution ne permet pas de répondre, le maintien de la balance énergétique doit s'effectuer par le biais des « occasions d'interaction que fournissent les choses de l'environnement par rapport aux capacités sensori-motrices de l'animal » (Varela, 1993 : 275). Cette interaction sensori-motrice avec l'environnement, appelé comportement, constitue une dynamique énergétique inexprimable en termes strictement phylogénétiques : alors que le développement métabolique d'un organisme s'effectue conformément à un programme génétique spécifiquement déterminé, « lorsqu'on étudie le comportement animal, (...) tout se passe comme si les interactions passées semblaient déterminer la conduite actuelle » (Varela, 1989 : 146). Ce phénomène d'ajustement comportemental a pour nom apprentissage.

À l'instar de l'évolution, l'apprentissage répond à un principe d'efficacité énergétique, l'objectif étant de « rendre le mouvement toujours plus harmonieux, plus élégant et plus économique » (Lorenz, 1997 : 401).

Le métabolisme obéit à une économie énergétique (un budget d'énergie, au sens le plus strict du mot), et l'énergie dépensée par le comportement doit certainement être incluse dans ce budget; par conséquent, il semblait sensé de penser à l'énergie comme à un des facteurs déterminants du comportement (Bateson, 1995 : 21).

Dans le cadre de cette dynamique énergétique particulière, « les processus sensoriels et moteurs, la perception et l'action sont fondamentalement inséparables » (Varela, 1993 :

234). La perception, c'est d'abord l'environnement qui « agit » sur l'organisme, mais c'est aussi l'organisme qui agit sur l'environnement par le biais d'un comportement exploratoire.

Perceivers are active in that they actively explore (look, feel, sniff, taste, and listen to) the contents of their environments. (...) Perceivers are not passive recipients of information, but active, purposeful obtainers of information. Thus, if information is meagre, the normal, active perceiver will engage in activities that yield more information. (...) For example, one might heft a rock to see if it is the right size for throwing. Or one could sniff a suspect carton of potato salad to see if it still affords eating (Michaels et Carello, 1981: 15, 70).

Ainsi, la perception est « non plus conçue comme une capacité de recueillir de l'information mais comme un comportement » (Varela, 1989 : 168). Quant à l'action proprement dite, son rôle dans le processus d'apprentissage est tout aussi fondamental que la perception, bien que trop souvent négligé.

Dans le cadre d'une étude devenue classique, Held et Hein élevèrent des chatons dans l'obscurité et les exposèrent à la lumière seulement dans des conditions contrôlées. Un premier groupe d'animaux furent autorisés à circuler normalement, mais ils étaient attelés à une voiture et à un panier contenant le second groupe d'animaux. Les deux groupes partageaient donc la même expérience visuelle, mais le second groupe était entièrement passif. Quand les animaux furent relâchés après quelques semaines de ce traitement, les chatons du premier groupe se comportaient normalement, mais ceux qui avaient été véhiculés se conduisaient comme s'ils étaient aveugles : ils se cognèrent sur les objets et tombaient par-dessus les bords (Varela, 1993 : 237).

En somme, dans le cadre du processus d'apprentissage, un organisme n'est pas tantôt perceuteur, tantôt acteur, mais toujours les deux à la fois : l'activité sensorielle nourrit l'activité motrice, qui alimente à son tour l'activité sensorielle, l'objectif premier de cette « boucle sensori-motrice » (Varela, 1989 : 156) étant de maintenir l'équilibre écologique.

Dans le cadre de ce processus d'apprentissage, il est également impossible de considérer l'organisme indépendamment de son environnement : décrire un organisme, c'est à la fois spécifier le type d'actions qu'il peut faire et le type de milieu qui lui convient; de la même manière, décrire un environnement, c'est tout autant décrire le type d'actions qu'il permet que le type d'organisme qu'il peut accueillir (Michaels et Carello, 1981 : 15).

Enfin, de par le lien indéfectible unissant apprentissage et comportement, aucune forme d'apprentissage ne saurait être adéquatement traduite en termes d'acquisition de connaissances.

Il est difficile, voire impossible de formuler cette connaissance du sens commun sous la forme d'une connaissance explicite, propositionnelle – « savoir *que* » dans le jargon philosophique – parce qu'elle consiste pour une bonne part en un « avoir sous la main » ou un « savoir *comment* » basé sur une expérience accumulée au cours de nombreuses situations concrètes (Varela, 1993 : 208).

En apprenant, un organisme ne connaît pas *plus*, mais agit *mieux*. Cette dynamique du « connaître » s'effectuerait suivant la logique rétroactive et behavioriste de renforcement et d'inhibition; par le biais de celle-ci, « les comportements avantageux voient ainsi leur fréquence augmenter alors que les organismes évitent les conséquences nuisibles en inhibant certains comportements » (Mengal : 49). En ce sens, l'apprentissage permet à l'animal une meilleure adéquation des capacités sensori-motrices à l'environnement (Michaels et Carello, 1981 : 84).

En somme, l'apprentissage constitue un processus triplement circulaire : il n'y a ni action, ni perception, mais bien toujours des comportements sensoriels qui déterminent des comportements moteurs et inversement; il n'y a également pas lieu de distinguer l'organisme de l'environnement, puisque l'un et l'autre s'impliquent et se déterminent mutuellement dans le cadre du comportement; enfin, dans la perspective où l'idée d'un apprentissage par acquisition de connaissances ne correspond guère à la logique circulaire des systèmes autonomes, tout processus d'apprentissage s'exprime par une boucle rétroactive d'ajustement comportemental, l'expérience s'exprimant par une activité sensori-motrice plus efficace, plus économique et mieux adaptée aux conditions ambiantes. Autrement dit, l'apprentissage lie à la fois et à sa manière l'organisme à son environnement, les activités sensorielles et motrices et le comportement aux conduites antérieures. Dans cette perspective à la fois autorégulatrice, rétroactive et énergétique de l'apprentissage, le développement de l'organisme semble à nouveau mener vers la synchronisation en tant que principe dynamique de premier plan.

2.1. La synchronisation motrice

Les études d'Erich von Holst sur la coordination absolue ou relative des mouvements natatoires des poissons, constitue l'une des premières et principales études consacrées au processus de synchronisation comportementale.

Chaque nageoire a en elle-même tendance à vouloir conserver son propre rythme moteur – c'est la tendance à la persistance au sens où l'entend Erich von Holst. L'action du rythme dominant consiste à « essayer » d'imposer sa propre fréquence au rythme dépendant. Mais la force de cette influence varie – et c'est là un point très important – périodiquement avec les écarts de phase qui existent chaque fois entre les deux rythmes. Si le rythme dépendant a une phase plus rapide que le rythme dominant, il est ralenti par ce dernier, s'il est en retard sur le rythme dominant, celui-ci contribue à l'accélérer. (...) Plus les sommets du rythme dominant et du rythme dépendant sont proches, plus ce dernier est accéléré par le précédent, autant le sommet du rythme dominant est avancé, ou ralenti, autant il prend lui-même d'avance sur le rythme dominant (Lorenz, 1997 : 176).

Von Holst, apparente ce phénomène d'ajustement moteur à l'attraction exercée sur un corps métallique par un aimant : « dès lors qu'une certaine proximité est atteinte, le rythme indépendant se rapproche d'un bond du rythme dominant, exactement comme dans le cas d'une attraction magnétique » (Lorenz, 1997 : 176). Plus qu'un phénomène accessoire, cet « effet magnétique » constitue un processus fondamental de régulation motrice à l'œuvre dans le comportement animal.

Les effets d'influence réciproque que deux rythmes producteurs d'excitation exercent l'un sur l'autre tendent à l'établissement d'un rapport de phase, d'une harmonie s'exprimant dans toute la mesure du possible par un nombre entier (effet magnétique). Cette influence est d'autant plus forte que les sommets des courbes de deux rythmes sont plus proches. Si cela se produit, comme c'est souvent le cas lorsque le rapport entre les fréquences est très proche d'un nombre entier, l'effet magnétique peut maintenir constamment les deux rythmes en cadence (Lorenz, 1997 : 141).

Certes, de tels processus de synchronisation nécessitent une activité de coordination motrice complexe, que seul un système nerveux permet de réaliser. En ce sens, alors que la synchronisation évolutive génétiquement programmée est aussi ancienne que la vie elle-même, la synchronisation sensori-motrice résultant de l'apprentissage n'est apparue qu'à la suite du développement du cerveau.

Véritable bijou de l'évolution biologique, le cerveau constitue le régulateur central de l'organisme et l'organe responsable du comportement.

Le cerveau (...) se compose de milliards de neurones reliés entre eux par un immense réseau de câbles et connections, (...) dans ces « fils » circulent des impulsions électriques ou chimiques intégralement descriptibles en termes moléculaires ou physicochimiques, et (...) tout comportement s'explique par la mobilisation interne d'un ensemble topologiquement défini de cellules nerveuses (Changeux, 1983 : 334).

À en croire les discours usuels sur l'apprentissage, le cerveau constituerait un vaste entrepôt gnoseologique, accumulant les connaissances de la même manière qu'une bibliothèque accumule des livres ou qu'un ordinateur enregistre des données; pourtant, « l'idée que nous emmagasinons des représentations de l'environnement ou que nous emmagasinons des informations au sujet de l'environnement ne correspond en rien au fonctionnement du système nerveux » (Varela, 1989 : 154).

A commonplace understanding that the brain, or mind, contains things. While the list of contents would certainly vary, a fairly representative enumeration would include knowledge, perceptions, experiences, and memories. Perhaps some would prefer to say that the brain gives rise to these contents or that there are structures or dynamics that correspond to these psychological entities, but these are all tokens of the same view. The alternative approach to the brain suggests that the brain does things: knows, perceives, experiences, and remembers, with "contents" explicitly omitted (Michaels et Carello, 1981: 62).

En vérité, à l'instar de tout système autonome, « les transformations que peut subir la structure du système nerveux sont entièrement spécifiées par sa connectivité » (Varela, 1989 : 150).

Les propriétés des neurones, comme leur structure interne, leur forme ou leur position relative, déterminent la connectivité du système nerveux, et le constituent comme réseau dynamique d'interactions neuronales. Cette connectivité du réseau (c'est-à-dire les relations anatomiques et opérationnelles existant entre les neurones et constituant le système nerveux comme un réseau d'interaction, d'excitation et d'inhibition parallèles, latérales, séquentielles et récursives) détermine son domaine d'états dynamiques possibles (Varela, 1989 : 149).

Connectivité, autorégulation, autonomie... À la lumière du rôle fondamental de la synchronisation dans la régulation dynamique des systèmes autonomes et tout particulièrement de l'apprentissage, il n'est donc guère surprenant d'apprendre qu'elle est à la

base du fonctionnement même du système nerveux, ainsi que l'avait initialement supposé Norbert Wiener.

2.1.1. La cadence neuronale

La pratique de l'électroencéphalographie a permis à la science de reconnaître que « les ondes cérébrales recueillies résultent d'un vaste phénomène de synchronisation de l'activité nerveuse » (Fraisse, 1957 : 32). Plus récemment, les neurobiologistes ont découvert que des phénomènes tels que la reconnaissance d'un visage, la mémorisation d'un mot ou des éclairs d'attention résultent de phénomènes de synchronisation neuronale, par laquelle des millions de cellules nerveuses oscillent en cadence pour une brève période à une fréquence rapide (Strogatz, 2003 : 277).

By, 1989, a team of neuroscientists led by Charles Gray and Wolf Singer showed an anesthetized cat an image of a moving bar, and found that the neurons responding to the bar began to fire rhythmic discharges at 30 to 60 cycles per second. The fusillade was short lived, lasting about one-third of a second, but highly synchronized, with neurons hitting a series of corresponding electrical peaks and valleys along the way. Perhaps most surprisingly, even cells that were separated by anatomically huge distances, halfway across the cat's visual cortex, managed to oscillate in nearly perfect unison. To test whether the coordinated firing meant the cat was perceiving the bar as a unified whole, Gray and Singer deleted the middle of the bar and moved both ends, giving it the appearance of two independent objects. The same brain cells continued to discharge but now fell out of step (Strogatz, 2003: 278-279).

De nombreuses études similaires ont été effectuées chez l'homme. Étudiant les capacités mnémoniques de sujets épileptiques dont le cerveau a été muni d'électrodes en vue d'éventuelles opérations neurochirurgicales, Jürgen Fell et ses collègues de l'université de Bonn leur demandent de mémoriser une liste de mots puis de se la remémorer après un certain laps de temps. Les chercheurs s'aperçoivent alors que lorsque les sujets lisent des mots dont ils vont se rappeler ultérieurement, l'activité électrique de l'hippocampe et du cortex rhinal entre en synchronie, tandis qu'aucune synchronisation de ce genre ne se produit lors de la lecture de mots qu'ils vont éventuellement oublier (Fell *et al.*, 2001; Strogatz, 2003 : 280). Cette expérience, suggérant que la réussite ou l'échec d'un processus de mémorisation dépend de l'émergence d'un champ de synchronisation neuronale, semblerait ainsi confirmer l'hypothèse d'Henri Bergson qui, dans son livre *Matière et mémoire* (1896),

s'oppose à l'idée d'une mémorisation par « stockage » de l'information et d'une conception du cerveau comme « dépôt d'archives ».

Plus récemment, dans une étude datant de 1999, une équipe menée par Francisco Varela demande à des volontaires d'observer une série de croquis à l'ordinateur, ceux-ci étant semblables à des visages lorsque vus à l'endroit mais n'ayant aucune forme reconnaissable vus de travers; suite à la vue de ces images sur l'écran, les sujets doivent actionner l'un des deux boutons situés devant eux, selon qu'ils reconnaissent un visage ou non. À partir de l'information fournie par la trentaine d'électrodes placée sur le crâne de chacun des sujets, les chercheurs ont pu observer que lorsqu'il y a perception d'un croquis difforme, les neurones des zones cérébrales associées à la vision oscillent brièvement à 40 cycles par seconde de manière asynchrone, alors que la perception d'un croquis à l'endroit déclenche une synchronisation neuronale ponctuelle dans ces mêmes zones. Dans les deux cas, un phénomène de synchronisation neuronale est observé dans les zones motrices du cerveau à la suite de ce processus perceptif et préalablement à l'activation de l'un des deux boutons (Strogatz, 2003 : 283).

Sur la base de ce rôle de la synchronisation dans l'activité de reconnaissance, Christoph Koch et Francis Crick émettent l'hypothèse que toute prise de conscience résulte d'un processus analogue de synchronisation neuronale (Strogatz, 2003 : 284). Dans cette perspective, prendre conscience de la synchronisation constitue en soi un acte inconscient de synchronisation.

En ce qui a trait spécifiquement au rôle de la synchronisation dans la régulation dynamique du comportement, « on sait depuis les recherches d'Adrian (1934) souvent vérifiées, que le rythme *alpha* des ondes cérébrales peut être dans une certaine mesure entraîné par une lumière intermittente » (Fraisie, 1957 : 32). Dans le cas particulier de l'homme, Norbert Wiener stipule, dans la seconde édition de son livre *Cybernetics*, que les ondes alpha du cerveau peuvent être entraînées par l'exposition à un rythme lumineux d'une période d'un dixième de seconde. À ce titre, il évoque une série d'expériences plutôt sadiques menées en Allemagne au cours des années 50 et consistant à évaluer la capacité d'entraînement des ondes cérébrales :

A room was made with a conducting floor and an insulated conducting metal plate suspended from the ceiling. Subjects were placed in this room, and the floor and the ceiling were connected to a generator producing an alternating electrical potential which may have been at a frequency near 10 cycles per second. The experienced effect on the subjects was very disturbing, in much the same manner as the effect of a similar flicker is disturbing (...) (Wiener, 1961 : 198-199).

Cette expérience s'apparente fortement aux événements insolites s'étant produit dans le cadre de l'un des épisodes les plus sombres de l'histoire de la bande animée japonaise. Le 16 décembre 1997, lors de la projection à 18h30 d'un épisode de la série *Pokémon*, l'explosion d'une « bombe dessinée » a exposé des milliers d'enfants pendant cinq secondes à un rythme d'environ 12 cycles par seconde. À la suite de cette explosion télévisée, de nombreux enfants se sont mis à vomir, d'autres ont subitement cessé de respirer et un enfant a même perdu conscience pendant plus d'une demi-heure. En tout, 60 enfants ont été admis à l'urgence à la suite de la projection télévisuelle de cette explosion stroboscopique et de sa retransmission aux bulletins de nouvelles.

The intense optical stimulation caused by the pulsing, kaleidoscopic bursts of light apparently triggered attacks of photosensitive epilepsy, a rare disorder that has become much more common as television and video games have proliferated. The precise cause of photosensitive epilepsy is unknown, but it's thought to be a synchronization disorder in which brain waves are entrained by flickering light, causing neurons in the brain to misfire in lockstep and produce a seizure. That hypothesis is consistent with the clinical observation that the most dangerous frequencies are between 15 and 20 cycles per second, just a bit faster than the brain's alpha rhythm (Strogatz, 2003: 277).

Ce phénomène d'entraînement neuronal pourrait d'ailleurs fort bien être à l'origine de la synchronisation sensori-motrice des animaux à la dynamique de leur environnement. Pareille hypothèse, guère nouvelle, semble corroborée par de nombreuses expériences.

Les expériences d'Henri Piéron de Marcel François, ainsi que celles de Hudson Hoagland sur l'effet de la température du corps sur le sens du temps (...) confirment la proposition selon laquelle une chaîne de réaction chimique se produisant dans nos neurones préside à notre sensation du temps (Robert, 1989 : 188).

Le meilleur support expérimental à cette hypothèse nous est fourni par une série d'expériences menées par des disciples de Pavlov. Les premiers rythmes comportementaux « conditionnés au temps » ont pu être observés en 1912 par Feokritova : « En alimentant un chien toutes les 30 mn, celui-ci ne se met à saliver que vers la fin de l'intervalle de 30 mn. Si

on interrompt le renforcement par la nourriture, le phénomène continue encore pendant quelques cycles » (Fraisie, 1974 : 18). Ce phénomène est rendu possible du fait de l'existence de l'horloge biologique interne.

La périodicité des changements extérieurs peut moduler temporellement des phases de l'activité qui, dans leur principe même, correspondent à une nécessité biologique. À côté de ces rythmes globaux de l'activité, on constate, en particulier chez les insectes, des activités qui se reproduisent toujours à la même heure et qui sont entièrement le fruit d'une expérience acquise. Si les abeilles trouvent à la même place et à la même heure de la nourriture pendant plusieurs jours de suite, elles se présentent par la suite tous les jours à cette même heure; ce mouvement continue pendant plusieurs jours après que l'on ait supprimé la nourriture. Le dressage peut être fait simultanément à plusieurs heures de la journée; il peut même réussir si on place de la nourriture à deux places différentes à quelques heures d'intervalle. On a constaté les mêmes faits chez les fourmis et les termites. Ce sens de l'heure se retrouve dans d'autres espèces. Des poissons se rendent tous les jours au même lieu à l'heure où on les nourrit et des oiseaux manifestent une recrudescence d'activité peu avant l'heure de leur repas (Fraisie, 1957 : 23).

Par la suite, « Fischer, Livanof, Popov ont constaté que les modifications synchrones de l'électroencéphalogramme provoquées par l'illumination rythmique de l'œil du lapin peuvent continuer un certain temps après la cessation des stimulations » (Popov, 1948 : 10).

Pendant et après les illuminations rythmiques de l'œil du lapin (1-2 fois par seconde), nous avons constaté les particularités suivantes : 1) Après quelques premières illuminations les ondes se modifient suivant un caractère cyclique. C'est-à-dire que ces modifications placées chacun entre deux stimulations successives deviennent souvent presque identiques. (...) 2) Après la cessation des illuminations la reproduction du cycle précédent aura lieu avec tous les détails (Popov, 1985 : 15).

Fort de ces résultats ainsi que de ceux d'expériences électrochimiques similaires basées sur l'alimentation rythmique de pigeons, Popov conclut que les conduites temporelles des organismes vivants reposent sur l'aptitude du système nerveux à « reproduire son histoire » (Popov, 1948 : 21), aptitude qu'il désigne sous le nom de « cyclochronie » :

« L'activité spéciale du système nerveux (...) s'exprime dans *l'aptitude à reproduire les excitations précédentes dans l'ordre temporel même où ces excitations ont été provoquées auparavant par les stimulations correspondantes*, comme le disque de gramophone est apte à reproduire les phénomènes acoustiques qui ont eu lieu lors de son enregistrement (...). Chaque élément nerveux central possède, outre l'excitabilité et la conductivité, une aptitude spéciale qu'on pourrait appeler la « reproductivité », c'est-à-dire l'aptitude à reproduire les excitations précédentes soit spontanément, soit à la suite de quelque stimulation. Nous avons défini cette aptitude

du système nerveux central par le terme : « cyclochronie » en insistant sur le rôle du temps et sur le caractère cyclique de la reproduction (Popov, 1948 : 17).

Selon le principe de « cyclochronie » mis de l'avant par Popov, un organisme s'adapterait à la dynamique rythmique de son environnement en reproduisant neurologiquement le rythme perçu, ce qui lui permet « d'anticiper et de prédire, de mimer en quelque sorte les événements physiques du monde environnant » (Boissin et Canguilhem, 2003 : 76).

Si la cadence est régulière – ou même si dans un rythme plus complexe une structure temporelle se répète plusieurs fois identique à elle-même –, la synchronisation devient possible parce qu'il y a moyen d'anticiper, sur la base des intervalles temporels, le moment où se produira le stimulus suivant (Fraisse, 1974 : 63-64).

En maintenant ainsi neurologiquement les cycles perçus, l'organisme devient « une véritable horloge physiologique » (Fraisse, 1957 : 17) dont le mouvement régulier fournit des repères à son activité régulatrice et ainsi lui permet de maintenir en cadence avec son environnement.

Qui ne s'est surpris à battre du pied en écoutant un morceau de musique au rythme très marqué? Cette banalité nous empêche peut-être de nous étonner d'une conduite assez singulière. Non seulement celui qui « accompagne » un rythme exécute un mouvement dont la période coïncide avec celle des sons, mais en outre ses frappes coïncident dans le temps avec les stimuli marqués. En d'autres termes, le mouvement est doublement synchrone. Il a la même période que le stimulus mais en outre stimuli et réponses se produisent au même moment (Fraisse, 1974 : 63).

L'aspect moteur de cette cadence sensori-motrice est fondamental : « tous les auteurs qui ont étudié le rythme ont insisté sur sa composante kinesthésique » (Fraisse, 1974 : 113). L'homme ne fait pas exception à la règle.

Le repère tactile (...) est recherché dans la synchronisation spontanée de mouvements avec des rythmes musicaux très marqués comme dans les marches et les danses. Les battements dans ces recherches sont toujours ceux de la main ou du pied sur une surface. Si on prive un sujet de ce repère en lui demandant par exemple de laisser pendre ses bras le long du corps alors qu'assis il frappait de la main sur la table, on constate qu'il recherche systématiquement, sans s'en apercevoir, un autre repère tactile, que ce soit sa jambe ou un montant de la chaise (Fraisse, 1974 : 69).

Pareille activité de synchronisation sensori-motrice s'effectue plus facilement dans un contexte strictement cadenciel, soit lorsque le rythme moteur et le rythme ambiant sont dans une même relation de phase.

Si on demande à un sujet de ne pas battre ses frappes en même temps que les stimuli, mais de répondre par exemple comme s'il s'agissait d'un temps de réaction, (...) certains n'y arrivent même pas quand la cadence est rapide, disons inférieure à 40 cs (centièmes de seconde). La même difficulté apparaît si on demande au sujet de syncoper, c'est-à-dire d'intercaler la série de ses frappes dans la série des sons. Là encore, aux cadences rapides, la tâche s'avère presque impossible. Elle reste difficile tant que l'intervalle entre deux sons n'atteint pas la seconde (Fraisie, 1974 : 64-65).

Parallèlement, cette aptitude à la cadence n'est possible que dans un cadre sensori-moteur limité : « les synchronisations sensori-motrices se produisent dans une gamme de cadences assez étroite qui correspond environ à celle où on trouve des rythmes moteurs spontanés » (Fraisie, 1974 : 65-66). En général, la zone de synchronisation sensori-motrice habituelle s'étend généralement de 20 à 180 centièmes de seconde : alors qu'un organisme peine à se synchroniser aux rythmes plus lents (par exemple, un jeune enfant parvient difficilement à « saisir » le concept de périodicité annuelle), les rythmes plus rapides se fondent dans la continuité (notamment dans le cas du rythme de vingt-quatre images par seconde du cinématographe).

En somme, les nombreuses rythmicités à l'œuvre dans l'environnement « engendrent, par conditionnement, des changements synchrones de notre organisme. (...) Cette correspondance a pour effet d'harmoniser notre vie avec les changements les plus importants de l'environnement » (Fraisie, 1957 : 11-12). Or, pareil phénomène de synchronisation sensori-motrice ne se limite pas au seul cas où les stimulations ambiantes présentent un caractère rythmique. À vrai dire, il semble que toute forme d'estimation ou de régulation temporelles s'effectue sur une base cadencielle : « très tôt, les expérimentateurs ont été frappés, chez l'animal, par des conduites qui paraissent meubler le terrain d'attente (...) d'une répétition stéréotypée d'un acte simple » (Richelle et Lejeune, 1979 : 85). Cet « ameublement duratif » observé en situation expérimentale est fort suggestif, puisqu'il semble confirmer la thèse selon laquelle « les ajustements temporels acquis se trouvent facilités par la récurrence périodique des événements, qu'ils soient externes ou inhérents à l'action du sujet » (Richelle et Lejeune, 1979 : 84). Ainsi, lorsque la structure temporelle

d'un événement ou d'une série d'événements n'est pas périodique, l'animal ne peut efficacement en estimer la durée et réguler son comportement en fonction de celui-ci qu'en lui superposant activement une série de figures temporelles à la fois simples et répétitives; autrement dit, l'animal régule sa propre conduite en cadencant les événements avec son propre corps, ses propres mouvements agissant alors à titre de « chronomètres ou de compteurs d'impulsions (...) spécifiquement dévolus à la mesure du temps » (Macar, 1980 : 228-229).

Pareille conclusion semblerait s'accorder avec des recherches expérimentales menées auprès de sujets humains, notamment celles menées par Garner et ses collaborateurs :

Dans ces expériences, les sujets écoutaient des séries cycliquement répétées de 8 ou 9 sons graves et aigus (...). Les sujets expérimentaux avaient pour mission de fournir, aussi rapidement que possible, une description correcte de cette série d'événements. Dans une telle situation, on constate que les sujets « cherchent » – c'est-à-dire syntonisent avec – une organisation perceptive stable (Michon, 1979 : 267).

Ce cadencement virtuel de la dynamique ambiante se fonde sur la conception du cerveau comme d'une banque d'oscillateurs ou d'horloges internes. On pourrait ainsi imaginer un réseau de neurones particulier « comme un circuit oscillant composé d'un ou de plusieurs neurones, capable de générer des activités électromagnétiques rythmiques dans le cerveau » (Streri, 2005 : 188). Le cerveau serait ainsi composé d'un nombre incalculable de réseaux neuroniques de périodes diverses, permettant à l'organisme de se synchroniser à une dynamique ambiante toujours changeante en générant de nouvelles cadences neuroniques. La compétence d'un organisme relativement à toute activité nécessitant une forme quelconque d'organisation dans le temps reposerait ainsi sur l'utilisation d'un éventail important de patterns oscillatoires différents. Or, comme « c'est un lieu commun en biologie de dire que les tissus qui ne fonctionnent pas s'atrophient » (Lovelock, 1990 : 172), ces réseaux cadentiels se développeraient au fil de l'expérience, de l'apprentissage et de leur utilisation.

Des réseaux neuroniques (...) se construiraient pour répondre aux impératifs de chaque situation, s'ajusteraient progressivement, de plus en plus étroitement, aux circonstances présentes. Ce processus d'élaboration graduelle demanderait, bien entendu, un certain temps, correspondant, sur le plan du comportement, à la période d'apprentissage indispensable à l'émission d'un jugement temporel précis (...) L'influx nerveux se fraierait répétitivement le même chemin à travers les chaînes de neurones et leurs ramifications dendritiques. Le circuit ainsi constitué ne se

disloquerait, dans les conditions normales, que s'il cesse d'être couramment utilisé, c'est-à-dire si la durée, ou la gamme restreinte de durées, en rapport avec laquelle il s'est constitué au fil d'un entraînement systématique ne fait plus l'objet d'une présentation fréquente. Plus l'entraînement est intensif, plus longtemps ce réseau privilégié risque de demeurer disponible (Macar, 1980 : 231).

Ces observations s'accordent avec les travaux effectués par les fondateurs de la théorie de la Gestalt sur le principe de prégnance, « observé comme constant au sein des mécanismes de perception » (Saint-Martin, 1990 : 91). Ce principe, analogue au « principe de moindre action » de Maupertuis au principe d'économie naturelle de Fermat ou à la loi de généricité de René Thom, désigne une tendance universelle d'économie énergétique et tendant « à la réalisation d'une structure aussi simple, aussi régulière que possible dans les phénomènes naturels » (Guillaume, 1937 : 38). Lors de leurs expériences, Wertheimer, Koffka et Köhler s'aperçoivent que l'individu tend à percevoir et à se remémorer l'organisation de son environnement comme étant plus régulière et équilibrée qu'elle ne l'est en réalité. Le principe de prégnance désignerait ainsi le processus « inconscient » d'homogénéisation perceptive par lequel un individu modifie le champ sensoriel de manière « à lier et organiser ces stimuli nouveaux dans quelques schémas anciens ou percepts connus » (Saint-Martin, 1990 : 107), et ce « en vue d'établir une relation perceptive simplifiée avec le champ » (Saint-Martin, 1990 : 79).

La perception transforme, modifie, complète et organise différemment les stimuli visuels, parce que l'organisme trouve plus agréable l'activité de produire de « bonnes formes » que de rester confronté avec des formes qui lui paraissent difficilement compréhensibles, soit de « mauvaises gestalts », des formes dont il ne saisit pas la structure d'organisation. C'est dire que le processus de boniformisation serait au service de ce que Freud appelle la primauté du principe du plaisir. Et comme en psychanalyse, le principe de plaisir est ici régi par la loi de l'homéostasie (Saint-Martin, 1990 : 92).

En ce qui a trait à la régulation dynamique du comportement, ce processus de « boniformisation » (Saint-Martin, 1990 : 78) intervient activement dans la régulation dynamique d'un organisme : « des éléments voisins par la durée (...) sont diminués ou supprimés par assimilation et les différences notables sont exagérées » (Fraisse, 1974 : 111). Cette activité de synchronisation sensori-motrice est source de plaisir, « augmentée par l'harmonie réalisée entre le perceptif et le moteur » (Fraisse, 1974 : 113). De nombreuses expériences soulignent d'ailleurs l'existence d'une cadence de prédilection :

Les chercheurs de l'époque classique de la psychophysiologie (...) ont cru à l'existence d'un sens du temps, c'est-à-dire à l'existence d'une unité de temps psychologique. Cet intervalle de temps, qui serait en quelque sorte en rapport avec une fonction physiologique des neurones, serait de l'ordre de 0,75 secondes. (...) Ces auteurs, et en particulier Estrel en 1884, se sont aperçus que les durées de temps supérieures à 0,75 seconde sont sous-estimées, et que les durées de temps plus courtes sont surestimées (Robert, 1989 : 179).

Enfin, bien que « naturels », « spontanés » ou « inconscients », ces différents cas de synchronisation par cadence sensori-motrice n'en constituent pas moins pour autant des comportements appris; à vrai dire, « tout cela fait l'objet d'un apprentissage qui occupe la période entière de l'enfance » (Pomian, 1984 : 323).

Des enfants d'un an peuvent se balancer (assis ou debout) en entendant une musique très rythmée. À cet âge, évidemment, il y a plus incitation au balancement que synchronisation proprement dite. Celle-ci se précisera peu à peu. Vers l'âge de 3 à 4 ans, l'enfant devient capable d'accompagner à la demande des battements d'un métronome (...). À 7 ans chez les normaux, une bonne synchronisation volontaire à des cadences différentes est acquise (Fraisse, 1974 : 64).

En somme, de la même manière que Gustav Fechner voit dans le *Wellenschema* le modèle de la régulation énergétique du vivant, « toute régulation ou estimation temporelle pourrait se ramener au schéma d'une onde » (Richelle et Lejeune, 1979 : 114) : dans un cas, c'est l'environnement qui impose sa cadence aux organismes; dans l'autre, c'est l'organisme lui-même qui fait entrer le monde dans sa cadence par le biais de ses facultés sensori-motrices. Peu importe le cas, le résultat est toutefois le même : par la cadence, un organisme « se trouve à la fois tiré en arrière et projeté en avant, vers ce qui aura lieu (ce qui aura temps), en fonction ou non de ce qui a déjà eu lieu (ce qui a déjà été temps) » (Sauvanet, 2000 : 178), lui permettant ainsi « de prédire des événements, d'anticiper le déroulement des événements sur la flèche du temps » (Changeux, 1983 : 169-170).

Ainsi, alors que l'évolution a favorisé le cadencement métabolique des espèces de manière à favoriser leur synchronisation énergétique à l'environnement photique et terrestre, l'apprentissage permet aux organismes de synchroniser leur activité sensori-motrice à la dynamique ambiante en utilisant leur propre corps comme horloge.

Les systèmes régulateurs se retrouvent sur tous les paliers du fonctionnement de l'organisme dès le génome et jusqu'au comportement, et paraissent donc tenir aux

caractère les plus généraux de l'organisation. Qu'il s'agisse (...) des multiples homéostasies physiologiques réglant le milieu intérieur, des non moins nombreuses régulations du système nerveux (y compris (...) les *feedbacks* du réflexe lui-même) et finalement des régulations et équilibrations observables à tous les niveaux des comportements cognitifs, l'autorégulation semble bien constituer à la fois l'un des caractères les plus universels de la vie et le mécanisme le plus général qui soit commun aux réactions organiques et cognitives (Piaget, 1970 : 72).

En somme, tant au plan de l'inné que de l'acquis, la régulation dynamique instaurée par comportement d'un organisme résulte de « phénomènes périodiques fondamentaux qui paraissent inscrits dans la structure biologique elle-même, ou du moins dans l'intime dépendance de l'organisme à sa niche écologique » (Richelle et Lejeune, 1979 : 73-74).

CHAPITRE III

LA SOCIALISATION DE LA CADENCE

Par le biais de l'évolution, les différentes espèces parviennent, suivant un double mécanisme d'oscillation et de synchronisation, à entrer en cadence avec les cycles photiques nyctéméral et annuel ainsi qu'avec les nombreuses fluctuations énergétiques qui en dérivent. Par l'apprentissage, chaque organisme parvient à synchroniser ses activités sensori-motrices à la dynamique ambiante par cadencement, que celle-ci soit basée sur l'adaptation aux rythmes ambiants ou sur la projection d'un rythme nerveux ou moteur. Or, la synchronisation n'est toutefois pas qu'affaire d'espèces ou d'organismes, puisqu'elle a également une portée sociale.

Cette synchronisation qui se crée entre un monde de stimulations et l'organisme a comme conséquence directe de faire du rythme une expérience sociale, puisque les mêmes causes produisent des effets identiques chez tous ceux qui y sont exposés. L'expérience rythmique a très naturellement un caractère social (Fraisie, 1974 : 115).

Le mouvement vers la cadence, en tant qu'idéal régulateur pour la dynamique énergétique de l'ensemble du monde biologique, n'est donc pas qu'affaire d'évolution ou d'apprentissage, mais également de socialisation.

À l'image du concept physique de champ, une société consiste en un réseau d'interactions dans lequel les activités de chaque individu sont déterminées par celles de l'ensemble du groupe. Irréductible à la somme de ses parties, cette dynamique instaure une forme de développement entièrement originale et inexprimable en termes de phylogénèse ou d'ontogénèse : « l'interconnexion d'individus interdépendants constitue un degré d'intégration dont les formes de relation, les structures et le processus ne peuvent se déduire des particularités biologiques ou psychologiques des individus qui la composent » (Elias,

1997 : 51). En particulier, sociétés et espèces, bien qu'elles constituent des collectivités dont la dynamique transcende les générations, doivent être distinguées : les premières sont des groupes dans lesquels la formation de chaque organisme repose sur une forme quelconque d'apprentissage, généralement appelée éducation, enseignement ou acculturation; les secondes déterminent pour leur part la formation des organismes par le biais d'un processus génétiquement déterminé de variabilité, de transmissibilité et de sélectivité.

Dans la transmission de la culture humaine, on essaie toujours de reproduire, de faire passer à la génération suivante les aptitudes et les valeurs des parents; mais cette tentative a toujours échoué et ne peut qu'échouer parce que la transmission culturelle est affaire d'apprentissage, non d'ADN. Le processus de transmission de la culture est une sorte d'hybride (...). Il doit tâcher de faire appel à des phénomènes d'apprentissage dans un but de répllication, car ce que les parents possèdent est le résultat de leur apprentissage (Bateson, 1990 : 55).

Ce processus de socialisation se retrouve dans l'ensemble du monde animal, sur un plan familial d'abord, mais également à plus large échelle. Chez l'homme, le processus de socialisation est d'une importance toute particulière : dans la perspective où leur comportement est davantage affaire d'apprentissage que d'évolution, la société joue un rôle fondamental dans la transmission des comportements les plus favorables au maintien de l'équilibre énergétique. À vrai dire, la « supériorité » de l'espèce humaine ne serait pas tant due à la taille de son cerveau, « qui n'est guère plus grand que celui d'un dauphin » (Lovelock, 1990 : 154), mais plutôt à ce qui serait possible d'appeler sa connectivité sociale.

Nos cerveaux peuvent être comparés à des ordinateurs de taille moyenne qui sont directement liés les uns aux autres et à des banques de données, ainsi qu'à un ensemble presque illimité de sondes, d'outils périphériques, et d'autres machines. En revanche, les cerveaux des baleines sont semblables à un groupe de grands ordinateurs reliés de manière lâche les uns aux autres mais presque dépourvus de tout moyen de communication externe (Lovelock, 1990 : 173).

Ainsi, bien que l'évolution et l'apprentissage jouent un rôle primordial dans le développement des animaux supérieurs, l'essentiel de leur « savoir-faire » leur est enseigné par le groupe dont ils font partie et auquel ils doivent ajuster leur comportement. En ce sens, c'est davantage par le développement des réseaux sociaux que par les capacités individuelles que l'humanité parvient à parfaire sa relation énergétique avec l'environnement.

Les progrès successifs des capacités de ces réseaux correspondent aux grands moments de l'évolution humaine et de l'histoire, tout simplement parce que ce sont des progrès qui ont permis à nos ancêtres de coopérer de plus en plus efficacement au sein de groupes de plus en plus nombreux pour tirer une nourriture de plus en plus abondante et exploiter d'autres formes d'énergie du monde qui nous entoure (McNeill, 2005 : 49).

Dans cette perspective, « il est intellectuellement faux de vouloir séparer l'image de l'homme en deux : celle de l'homme en tant qu'individu et celle des hommes en tant que société » (Elias, 1997 : 155). Tout homme est l'héritier des nombreux groupes dont il fait partie : famille, milieu professionnel, organismes et associations, pays et ainsi de suite.

Cette importance de la socialisation ne se limite d'ailleurs pas au seul cadre éthique ou moral, puisqu'elle détermine tout autant la manière de penser des individus que leur manière d'agir : « un individu a toujours acquis certaines « formes de pensée », des catégories spécifiques, le pouvoir de relier des observations isolées, au cours de l'apprentissage auquel le soumet le processus de socialisation » (Elias, 1997 : 46-47). Émile Durkheim a mieux que quiconque exprimé cette réalité dans le cadre de ses nombreux travaux.

Il n'y a rien dans la vie sociale qui ne soit dans les consciences individuelles; seulement, presque tout ce qui se trouve dans ces dernières vient de la société. La majeure partie de nos états de conscience ne se seraient pas produits chez des êtres isolés et se seraient produits tout autrement chez des êtres groupés d'une autre manière (Durkheim, *De la division du travail social*, Paris : 1960 : 342).

Ce vaste processus de socialisation chez l'homme exerce un pouvoir hautement contraignant et largement sous-estimé : famille, institutions et autres organismes sociaux « inculquent à l'individu dès sa plus tendre enfance une autocontrainte qui ne tarde pas à se transformer en automatisme, en habitude » (Elias, 1996 : 412).

Aujourd'hui l'homme est soumis à un réseau si étroit de préceptes et de règlements, la censure et la pression de la vie sociale responsables de la formation de ses habitudes sont si fortes que l'adolescent n'a le choix qu'entre deux possibilités : ou bien il conforme son comportement aux exigences de la société, ou bien il s'exclut de la « société civilisée ». Un enfant qui ne parvient pas à la norme affective exigée par la société est considérée, à un degré variable, comme « malade », « anormal », « criminel » ou – dans la perspective d'une caste ou couche donnée – comme « impossible » et rejeté de la vie sociale (Elias, 1996 : 304).

Or, à l'instar de toute forme d'apprentissage, cette intégration sociale de l'individu s'effectue suivant cette même logique circulaire d'autorégulation rétroactive observée chez l'ensemble des systèmes autonomes.

Grâce à une série d'essais et d'erreurs corrigés par les feedbacks qu'il reçoit, (l'organisme) apprend à se comporter socialement en s'adaptant aux contraintes de ses relations interpersonnelles, sa famille, ses groupes d'appartenance, les différents membres de la société dans laquelle il vit, etc. (Witzeaele, 2006 : 16).

En somme, les divers processus de socialisation « non seulement expriment, mais aussi favorisent la normalisation des individus » (Bateson, 1986 : 72). Or, compte tenu de l'importance du processus de synchronisation dans la dynamique autorégulatrice des systèmes autonomes, il n'est donc guère surprenant d'apprendre que « toute vie sociale exige un synchronisme minimal, un aménagement commun des occupations » (Attali, 1982 : 16) : de la même manière que l'interprétation et même l'improvisation musicales ne peuvent s'effectuer sans une cadence métrique commune à l'ensemble du groupe musical, une société ne saurait fonctionner sans que chacun de ses membres ajuste ses activités à la cadence du groupe. En ce sens, le mouvement vers la cadence, présent dans l'évolution comme l'apprentissage en tant que principe d'efficacité énergétique, joue également un rôle important dans le processus de socialisation et, partant, dans l'auto-organisation et l'autorégulation des sociétés.

2.1. La synchronisation sociale

Appliquée aux sociétés, le processus de synchronisation exprime une dynamique auto-organisationnelle dépassant la simple somme des individus y prenant part. Comme pour tout autre système autonome, la dynamique sociale tend vers la cadence en tant qu'idéal énergétique et régulateur : des systèmes autonomes ainsi couplés fonctionnent alors comme un seul et même système, créant du coup un champ social de synchronisation unique (Benzon, 2001 : 25, 28).

In the language of dynamics theory, the cyclic pattern is a type of attractor. Each person in the group, of course, is moving toward the same attractor. While the performing group is involved in this periodic rhythm, the collective system's historical "depth" is quite shallow. Individuals are no longer taking irreversible

trajectories through their individual state spaces but are involved in a collective effort that converges on an attractor in the collective state space (Benzon, 2001: 128).

Parmi l'ensemble des phénomènes de synchronisation à l'œuvre dans les diverses sociétés, celui de la synchronisation menstruelle entre sœurs, colocataires, amies ou collègues de travail constitue sans contredit l'un des cas les plus impressionnants et ayant le plus profondément marqué l'imaginaire humain.

En 1971, Martha McClintock, alors étudiante en psychologie à Wellesley, un collège pour filles du Massachusetts, demande à 135 de ses camarades de noter leur historique menstruel durant l'année scolaire. À la fin de l'année McClintock découvre que le décalage menstruel entre camarades de classe, passant ensemble l'essentiel de leur quotidien, passe de 8.5 jours en moyenne au mois d'octobre à 5 jours en moyenne au mois de mars; à l'inverse, le décalage menstruel d'un groupe de contrôle constitué d'étudiantes choisies aléatoirement parmi la population étudiée n'a pratiquement pas changé (McClintock, 1971 : 244-245).

Il est généralement reconnu qu'un tel phénomène de synchronisation sociale est d'ordre chimique, les phéromones étant considérées comme de puissants synchroniseurs. La première observation de l'action rythmique des phéromones est effectuée par Michael Russell en 1980. Lorsque sa collègue Geneviève Switz lui fait remarquer qu'en partageant son appartement avec une colocataire durant l'été, le cycle menstruel de celle-ci se synchronise au sien durant la période estivale, Russell projette alors d'évaluer le pouvoir d'attraction du cycle menstruel de Geneviève. Pour ce faire, trois fois par semaine pendant quatre mois, Russell applique sur la lèvre supérieure de plusieurs sujets féminins une solution composée d'alcool et d'un extrait sudoral de sa collègue. Les résultats de cette étude ont de quoi étonner : alors que le cycle menstruel des sujets observés diffère de 9.3 jours de celui de Geneviève au début de l'expérience, ce décalage moyen n'est plus que de 3.4 jours quatre mois plus tard (Russell, Switz et Thompson, 1980 : 737-738).

En 1998, Martha McClintock et Kathleen Stern parviennent à approfondir l'état des connaissances en matière de synchronisation « phéromonale » : reprenant la méthodologie de Russell, elles découvrent que la sueur de femmes étant au début de leur cycle menstruel, soit dans la période folliculaire précédant l'ovulation, accélère le cycle menstruel des femmes

observées, celles-ci ovulant plusieurs jours à l'avance; à l'inverse, la sueur de femmes en période d'ovulation tend à ralentir le cycle menstruel; enfin, la sueur de femmes en phase lutéale, c'est-à-dire quelques jours avant la menstruation proprement dite, n'exerce aucun effet sur le cycle menstruel des autres femmes (Stern et McClintock, 1998 : 177-179).

Ce phénomène aux allures fantastiques n'a pourtant rien de magique; il ne fait que répondre au même principe d'efficacité énergétique que les autres mouvements vers la cadence : des expériences ont en effet montré que de jeunes rats nés de femelles dont le cycle reproducteur est en cadence avec celui des autres membres du groupe sont généralement plus gros et forts que des rats nés de mères isolées (Strogatz, 2003 : 37-38). À la lumière de ces expériences, les femmes vivant en société feraient toutes partie d'un gigantesque champ de synchronisation, chacune d'entre elles ajustant son propre rythme menstruel à celui de l'ensemble de ses congénères dans une perspective d'optimisation énergétique.

Ce mouvement vers la cadence peut-être observé au niveau de nombreuses sociétés animales : « les oiseaux, les poissons, les dauphins ou d'autres animaux se déplacent parfois en bancs ou en groupes – chaque individu maintenant plus ou moins la même position par rapport à ses voisins » (McNeill, 2005 : 26). Les cas les plus connus et étudiés de cadence sociale demeurent toutefois ceux de la synchronisation photique des lucioles et de la synchronisation acoustique des criquets. Pendant plus de 300 ans, de nombreux voyageurs occidentaux en Asie du Sud-Est ont rapporté avoir assisté à des phénomènes lumineux phosphorescents extraordinaires impliquant des myriades de lucioles clignotant en synchronie. L'un des premiers témoignages apparaît dans le journal de bord de l'expédition de Sir Francis Drake en 1577, tel que relaté dans les *Principales navigations et les principaux voyages et trafics de la nation anglaise* de l'écrivain Richard Hakluyt.

Our General (...) sayled to a certain little Island to the Southwards of Celebes (...) thoroughly growen with wood of a large and high growth (...). Among these trees night by night, through the whole land, did shew themselves an infinite swarme of fiery wormesflying in the ayre, whose bodies being no bigger than our common English flies, make such a shew of light, as if every twigge or tree had been a burning candle (Hakluyt, 1926: 151).

Le même phénomène est décrit avec plus grand détail par le physicien allemand Engelbert Kaempfer, suite à une expédition de la Compagnie néerlandaise des Indes Orientales le long de la rivière Meinam.

The Glowworms (...) represent another shew, which settle on some Trees, like a fiery could, with this surprising circumstance, that a whole swarm of these insects, having taken possession of one Tree, and spread themselves over its branches, sometimes hide their Light all at once, and a moment after make it appear again with the utmost regularity and exactness, as if they were in perpetual Systole and Diastole (Kaempfer, 1906: 78-79).

Dans son livre *Born Free*, datant de 1961, Joy Adamson observe pour la première fois le même phénomène sur le continent africain.

A great belt of light, some ten feet wide, formed by thousands upon thousands of fireflies whose green phosphorescence bridges the shoulder-high grass (...). The fluorescent band composed of these tiny organisms lights up and goes out with a precision that is perfectly synchronized, and one is left wondering what means of communication they possess which enables them to coordinate their shining as though controlled by a mechanical device (Adamson, 1961: 29).

Puis, en 1992, la communauté scientifique fait la découverte de la première manifestation de clignotement synchronisé de lucioles dans l'hémisphère occidental, près de Elkmont dans le Tennessee (Strogatz, 2003 : 11).

L'engouement scientifique suscité par ce phénomène inusité est palpable : entre 1915 et 1935 seulement, plus d'une vingtaine d'articles sont publiés à ce sujet dans la revue *Science*. Parmi l'ensemble des recherches consacrées au rythme des lucioles, celles menées par les biologistes John et Elisabeth Buck au milieu des années 60 ont certes été parmi les plus influentes. Lors d'un voyage en Thaïlande, lui et sa femme capturent quelques spécimens de *Pteroptyx malaccaae* afin de les observer dans leur chambre d'hôtel. S'installant graduellement sur le plafond et les murs de la chambre à une dizaine de centimètres les unes des autres, chaque luciole clignote d'abord à son propre rythme. Puis, des premiers duos et des trios de clignotements synchrones se forment assez rapidement, le nombre de lucioles synchronisées augmentant progressivement jusqu'à ce qu'une douzaine d'entre elles clignotent en cadence (Buck et Buck, 1968).

Pour John et Elisabeth Buck, pareil phénomène indique que les lucioles parviennent à synchroniser leurs clignotements en ajustant leurs rythmes en réponse aux clignotements des autres. Pour tester cette hypothèse, Buck et ses collègues ont mené différentes expériences de laboratoire consistant à mesurer le temps de réponse d'une luciole aux clignotements rythmiques d'une lumière artificielle. Buck découvre alors qu'une luciole parvient à modifier le temps d'occurrence de ses clignotements subséquents de manière consistante et prévisible, en fonction du moment d'occurrence précis de la lumière artificielle dans son propre cycle de clignotement. D'autres recherches ont permis de démontrer que certaines espèces particulières ne pouvaient se synchroniser à la lumière artificielle qu'en accélérant leur propre rythme de clignotement; d'autres espèces étaient également capables de retarder ce cycle, dépendant du décalage entre leur propre rythme de clignotement et celui de la lumière artificielle (Buck et Buck, 1976). Toutes ces expérimentations ont permis à John Buck et sa femme de conclure que le rythme de clignotement des lucioles est régulé par un oscillateur interne aisément entraînable aux rythmes exogènes (Buck, 1988).

Des recherches similaires à celles de John et Elisabeth Buck ont été menées sur des criquets. Ainsi que l'avait spécifié Norbert Wiener, les criquets peuvent synchroniser leur chant caractéristique, crée par le frottement de 2 à 11 fois répété de leurs ailes l'une contre l'autre, à ceux de leurs voisins. S'intéressant à ce phénomène particulier, Tom J. Walker entreprend de tester la capacité de synchronisation d'une espèce particulière de criquet (*Oecanthus fultoni*) que l'on retrouve partout sur le territoire des Etats-Unis. Préenregistrant sur une bande sonore le chant d'un criquet pour ensuite le faire entendre à des spécimens males isolés dans les cylindres de verres, Walker découvre qu'un cricket peut s'adapter très rapidement au chant préenregistré : en ralentissant ou en accélérant le rythme de son propre chant, un criquet parvient à se synchroniser au chant entendu en moins de deux cycles (Pikovsky, Rosenblum et Kurths : 78-79).

La synchronisation écologique s'effectuerait également entre différentes espèces, ainsi que l'étude des variations démographiques des populations canadiennes de lynx et de lièvres permet de le démontrer.

A well-known phenomenon in ecology is oscillation in the abundances of species. One of the most studied examples is the Canadian hare-lynx cycle. A striking fact is that the abundances in different regions of Canada perfectly synchronize in phase, although the amplitudes are irregular and remain quite different. Blasius *et al.* (1999) assumed that the irregularity of the amplitude is due to chaotic dynamics in the predator-prey system, and the interaction between the populations in adjacent regions occurs because of the migration of animals (Pikovsky, Rosenblum et Kurths : 134).

À la lumière de ces nombreux exemples, il n'est donc guère surprenant que de tels phénomènes cadencés existent au niveau des sociétés humaines. Or, il est intéressant de noter qu'à l'exception d'une rare espèce de primates, les bonobos, nos plus proches cousins sont incapables de tels mouvements. Certes, la socialisation constitue pour les sociétés de primates un aspect tout aussi essentiel pour la formation de l'individu que pour l'homme.

Katharina Heinroth rapporte qu'en dépit de tous ses efforts, elle n'a pas réussi à faire entrer les jeunes papions qu'elle avait élevés dans la horde de singes de la même espèce qui habitaient le grand rocher du zoo de Berlin. Les sujets élevés par l'homme provoquaient sans arrêt les plus violentes colères de leurs congénères par des comportements « non-conformes à l'organisation sociale »; comme le dit Katharina Heinroth, ils avaient un comportement « marginal ». Ces différences sont très significatives car elles dénotent l'existence de normes *traditionnelles* du comportement social (Lorenz, 1997 : 73).

Également, les mouvements collectifs constituent un aspect essentiel de leur vie communautaire, émergeant en réponse à de nombreuses et diverses situations. Un bon exemple nous est fourni par la réaction des chimpanzés à un orage, relatée par Jane Goodall :

« Parfois, quand ils sentent les premières gouttes, ils commencent à parader, et se balancent en rythme d'un pied sur l'autre, en agitant des arbustes d'avant en arrière, entapant le sol du pied. Cette démonstration spectaculaire est pour nous une « danse de la pluie » (Goodall, Jane. 1967. *My Friends, the World Chimpanzees*. Washington, : 77; cité dans McNeill, 2005 : 28).

En dépit de l'omniprésence de tels mouvements collectifs, « personne n'a jamais observé chez des chimpanzés vivant en liberté des mouvements rythmés donnant naissance à une cadence » (McNeill, 2005 : 29). Bien que des mouvements rythmiques puissent être repris par d'autres individus et ainsi entraîner une réaction motrice en chaîne, aucun processus de synchronisation comportementale n'émerge de cette activité sociale.

Certes, en situation d'interaction avec l'homme, les singes peuvent apprendre à se mouvoir en cadence. Dans son livre *L'intelligence des singes supérieurs*, résumant plus de

quatre ans d'expériences menées sur des chimpanzés et autres singes dans une colonie de Tenerife aux Canaries, Wolfgang Koehler fait mention d'un tel cas d'apprentissage cadentiel.

Il me suffit de tourner quelque temps autour d'un poteau en frappant le sol du pied, (...) pour que quelques noirs compagnons se joignent aussitôt à moi. Quand j'en ai assez et que je sors, le cortège prend généralement fin (Koehler, 1931 : 301).

Ce phénomène singulier est le résultat d'un processus d'apprentissage mimétique : « les chimpanzés avaient appris à danser en regardant faire les humains qui les avaient réunis et installés à Tenerife, (...) ils les imitaient comme plus tard ils imitèrent Koehler lui-même » (McNeill, 2005 : 30). D'ailleurs, puisqu'une telle cadence chorégraphique s'estompe dès que Koehler cesse d'y prendre part, il semble juste d'affirmer que les singes, bien qu'ils soient aptes à entrer en cadence avec l'homme, s'avèrent incapables de la maintenir d'eux-mêmes. Le phénomène cadentiel observé par Koehler serait donc dû aux capacités mimétiques extraordinaires des singes, non à une quelconque aptitude à la cadence. Les nombreux témoignages de dresseurs de chimpanzés vont également dans ce sens :

« I have discussed the question of chimpanzee « dancing » with a number of circus trainers and they were all of the opinion that the chimpanzee has no real sense of time or rhythm (...). Rudi Lenze insists that not one of the chimpanzees among the thirty animals he has trained, as an individual or in the group, has ever displayed a rhythmic ability that is remotely connected with keeping time" (Williams, 1980: 55).

En somme, à l'exception des rares bonobos, « nos plus proches parents animaux disposent donc de tous les éléments nécessaires pour pratiquer la danse à la manière des humains, sauf l'habitude de respecter la cadence » (McNeill, 2005 : 29). Les sociétés humaines seraient conséquemment les seules communautés de primates capables de cadencer ses activités à la manière des lucioles et des criquets. Ce comportement cadentiel, apparemment si simple et que les hommes manifestent si aisément dans une multitude de situations sociales aussi diverses les unes que les autres, constitue à vrai dire un principe fondamental de socialisation et l'un des principes d'autorégulation les plus sous-estimés de l'étude des systèmes autonomes.

2.1.1. La cadence dans les sociétés humaines

Pour William McNeill, « le fait d'accomplir certains gestes et de chanter ou de crier en même temps que d'autres est le moyen le plus sûr, le plus facile et le plus efficace que notre espèce ait trouvé pour créer et faire vivre des communautés » (McNeill, 2005 : 176). Cette socialisation par la cadence reposerait sur le rôle à la fois rassembleur et pacificateur de l'euphorie collective suscitée par la symbiose musculaire : de la même manière que le cadencement de l'activité nerveuse serait source de plaisir pour l'organisme, les mouvements collectifs cadencés « provoquent une excitation nouvelle (...) et augmentent les répercussions affectives » (Fraisie, 1974 : 115), ce qui permet « de resserrer les liens de la communauté et de faciliter la coopération sous toutes ses formes » (McNeill, 2005 : 50). L'excitation procurée par les mouvements cadencés collectifs constitue un phénomène universel, présent dès les premières années de la vie.

Faites synchroniser par un enfant des frappes avec un métronome, il le fera d'une manière précise. Faites battre de la même manière un groupe d'enfants et vous constaterez les changements que cette situation sociale apporte à l'intensité des frappes de chacun et à l'excitation de tous (Fraisie, 1974 : 72).

Le siège de cette excitation cadentielle serait situé dans les régions « archaïques » du système nerveux, celles « qui fonctionnent subconsciemment, entretiennent le rythme cardiaque, le péristaltisme digestif et la respiration, ainsi que les autres équilibres chimiques et physiologiques nécessaires aux fonctions corporelles ordinaires » (McNeill, 2005 : 19). Ces idées rappellent d'ailleurs les paroles célèbres d'Einstein : « celui qui marche joyeusement au pas d'une musique militaire me dégoûte. Il a reçu un cerveau par erreur, puisque pour lui la moelle épinière suffirait amplement ».

Le siège premier de la réaction physique au mouvement cadencé est apparemment situé dans les systèmes nerveux sympathique et parasympathique. Ces centres nerveux sont impliqués dans toutes les émotions, mais on connaît mal la progression exacte de l'excitation par le système nerveux sympathique et du retour à l'homéostasie physique par le système nerveux parasympathique. Diverses hormones secrétées par la glande pituitaire et par d'autres organes interviennent dans ces phénomènes; interviennent également l'hypothalamus, les amygdales, et le côté droit du cortex cérébral. C'est seulement après un filtrage effectué à ces niveaux du cerveau que l'excitation engendrée par le mouvement physique cadencé et les cris atteignent le côté gauche du cerveau, où sont situées nos capacités verbales (McNeill, 2005 : 18-19).

Or, dans la perspective où « toute caractéristique, qu'elle soit anatomique, physiologique ou comportementale, sera, si elle continue à être adaptative pendant de longues périodes de temps, intégrée de plus en plus profondément à la structure organisationnelle du système » (Bateson, Une unité sacrée : 160), il semble possible d'avancer que la « symbiose musculaire », par son profond enracinement nerveux, constitue un phénomène biologique d'une ancienneté phylogénétique extraordinaire. Dans cette perspective, l'euphorie collective que la cadence musculaire entraîne constituerait un facteur de socialisation beaucoup plus ancien et fondamental que le langage, ce qui permettrait d'expliquer pourquoi « agir en mesure avec d'autres éveille des sentiments de solidarité et élimine certains sentiments de frustration mieux que les mots ne peuvent le faire » (McNeill, 2005 : 176).

Cette symbiose musculaire résultant de la socialisation de la cadence constituerait le principal facteur du développement et de l'extension des sociétés humaines : l'homme aurait appris à tisser des liens sociaux et à promouvoir l'esprit de solidarité et de confrérie au sein de communautés de plus en plus larges grâce à un recours systématique à la symbiose musculaire procurée par la cadence. Ainsi, les premières sociétés humaines, étant dès les origines soumises à la même compétition « intraspécifique » que les groupes de primates en vue de l'acquisition des ressources énergétiques essentielles à leur survie, auraient appris à la différence de leurs cousins à mettre fin à cet « état de nature » hobbesien par la tenue de grandes célébrations collectives.

Comme les chimpanzés, les petites communautés humaines entretiennent souvent des relations d'hostilité avec leurs voisins et préservent un territoire bien défini contre les intrusions d'éléments extérieurs en utilisant toutes les forces dont elles disposent. (...) Aujourd'hui encore, les communautés de chasseurs-cueilleurs éclatent souvent en petits groupes aux moments de l'année où le ravitaillement est le plus difficile, avant de se retrouver et de renouer leurs liens sociaux dans les périodes de fêtes et d'abondance (McNeill, 2005 : 35).

Plus que de simples occasions de réjouissances, de telles célébrations constituent d'importants processus de pacification : « ces fêtes (...) provoquent une émotion dont le résultat le plus frappant est que tous les participants se sentent réconciliés avec eux-mêmes et avec ceux qui les entourent » (McNeill, 2005 : 35). Lors de ces célébrations, les mouvements cadencés suscités par la danse tiennent un rôle prépondérant. Il ne s'agit pas là d'un hasard : pour l'auteur, le côté rassembleur et pacificateur de ces grandes fêtes proviendrait du

sentiment d'euphorie collective et de sympathie mutuelle émergeant des mouvements collectifs suscités par la danse; c'est sans doute grâce à une telle cadence que « les sociétés humaines sont beaucoup plus importantes que les groupes de chimpanzés, et comptent dans leurs structures hiérarchisées de coopération beaucoup plus que seize mâles adultes » (McNeill, 2005 : 35).

On peut considérer que le fait de bouger en rythme pendant plusieurs heures de suite renforce les liens affectifs unissant tous ceux qui participent à une telle expérience, qu'il s'agisse d'hommes ou de femmes. Des groupes numériquement beaucoup plus importants que ceux existant actuellement chez les chimpanzés ou les autres grands singes purent ainsi se former, ce qui présentait des avantages immédiats pour la protection mutuelle que pouvaient s'apporter les membres du groupe et leur expansion territoriale, aux dépens à la fois des espèces concurrentes et des groupes d'*Homo erectus* numériquement moins importants qui ignoraient la danse. (...) C'est ainsi qu'apparurent des groupes que nous pouvons considérer comme les communautés primaires à l'échelle humaine, comprenant de quelques dizaines à plusieurs centaines d'individus, grâce aux liens affectifs de solidarité créés par le fait de rester en cadence (McNeill, 2005 : 41).

Loin d'être un phénomène marginal, les danses collectives « existent dans presque toutes les petites communautés indépendantes, que celles-ci vivent de la chasse et de la cueillette, de l'agriculture, ou d'un mélange de ces deux types d'économies » (McNeill, 2005 : 50). Encore aujourd'hui, toutes les sociétés humaines pratiquent la danse au quotidien. Cette ubiquité historique et géographique de la danse, tout en prolongeant cette hypothèse éthologique selon laquelle « tout groupe social (...) impose à ses membres une série d'attitudes émotionnelles obligatoires, une sorte de langage commun de l'affect qui règle la vie quotidienne » (Houseman et Severi : 15 : 1986), témoigne également du rôle social essentiel de l'activité de cadencement collectif.

L'humanité n'a pas échappé à la pression de la sélection biologique; une pratique qui apparaît comme une dépense extravagante ne se serait pas généralisée, si elle n'avait pas eu un effet positif sur la survie de la collectivité, en renforçant la solidarité dans les moments de crise (McNeill, 2005 : 51).

Le plus ancien témoignage chorégraphique connu est la représentation grotesque dite du Sorcier, datant de 12 000 à 18 000 ans. En raison toutefois de son rôle social fondamental, force est de croire que la pratique de la danse est beaucoup plus ancienne et serait en fait apparue « à un moment où la chasse aux grands animaux commença à représenter une part

importante de la nourriture de nos ancêtres » (McNeill, 2005 : 46). Ce serait en effet pour répondre aux dangers de la chasse dans la savane africaine que sont apparus les premiers mouvements sociaux cadencés, nommément les danses guerrières.

Si les groupes d'*Homo erectus* apprirent à renforcer leurs liens de solidarité sociale en dansant ensemble, cela dut rendre leur manière de chasser plus efficace. Les chasseurs durent célébrer leurs victoires par la danse, en mimant les gestes accomplis pour tendre des pièges, pour rabattre le gibier ou le chasser de son terrier, comme les pygmées aujourd'hui. Ces reconstitutions, s'ajoutant aux liens plus étroits créés par le rythme de la danse, durent rendre le comportement des chasseurs sur le terrain moins imprévisible (...). Le lien émotionnel suscité par la danse dut permettre à chaque danseur, à titre individuel, de jouer son rôle avec plus de courage, sans reculer quand un animal encerclé essayait de s'échapper, en utilisant son bâton selon des techniques ayant fait leurs preuves pour le repousser ou le rabattre vers des pièges préparés à l'avance (McNeill, 2005 : 44).

En participant à de telles cadences guerrières, les hommes « ont sans doute commencé à éprouver, pour reprendre la formule du roi Swazi à propos de ses guerriers en 1940, qu'ils ne font qu'un et peuvent se faire des compliments » (McNeill, 2005 : 26).

En somme, la cadence a permis aux premiers groupes humains « d'accroître leurs dimensions, leur cohésion, et d'assurer leur survie en améliorant la façon dont ils protégeaient leur territoire, assuraient leur ravitaillement et éduquaient les jeunes » (McNeill, 2005 : 17). Grâce à ce pouvoir socialisant et euphorisant de la symbiose musculaire, conjugué à l'efficacité énergétique indéniable de la cadence en tant qu'idéal autorégulateur, les mouvements cadencés suscités par la danse sociale s'étendant rapidement à l'ensemble de la vie sociale « en entretenant les habitudes quotidiennes et toutes les formes de coopération nécessaires à la conduite réelle des affaires de la communauté » (McNeill, 2005 : 51). De ces multiples usages sociaux de la cadence, l'un des plus importants concerne l'interaction énergétique de l'espèce humaine avec son environnement par le biais du travail.

2.1.2. La cadence au travail

Après la danse, les mouvements et les chants collectifs ont permis de faciliter l'exécution de certaines tâches collectives : « le travail devint plus facile à supporter et plus efficace quand les hommes apprirent à travailler ensemble, en accomplissant certains gestes

en cadence et en coordonnant certaines actions au moyen du chant » (McNeill, 2005 : 56).
 Tout d'abord le travail cadencé permet d'alléger l'ennui propre aux tâches répétitives.

Le traitement de la nourriture après la cueillette avait toujours exigé des hommes des efforts monotones pour enlever les coquilles des noix et tremper les poisons des racines, etc. Mais la production volontaire de nourriture à une échelle permettant à tout un village de passer les mois d'hiver multiplia les tâches répétitives. La préparation du sol avant les semailles, les plantations, l'égrenage et la récolte étaient des tâches exigeant de longues heures de travail répétitif. D'autres tâches liées à la préparation des aliments étaient tout aussi monotones : c'était le cas du pilage des céréales, du pétrissage du pain, du râpage du manioc, sans parler de la pression du raisin pour le vin et des olives pour l'huile. Quand ces tâches étaient prises en charge collectivement, ceux qui travaillaient pouvaient coordonner leurs efforts en suivant le rythme d'un chant (...), ce qui leur permit (...) de rendre plus supportable la place prise par le travail dans la vie du village (McNeill, 2005 : 63).

En effectuant tous ces travaux agricoles en cadence, les travailleurs parviennent, « en raison des réactions neurologiques et émotionnelles au mouvement rythmé propres au système nerveux humain » (McNeill, 2005 : 66-67), à supporter plus facilement l'accroissement du temps de travail quotidien et annuel suscité par la pratique agricole. Le travail agricole cadencé possède également une vertu « énergisante », permettant de minimiser la fatigue des travailleurs et ainsi maximiser le temps de travail.

En Bavière, par exemple, la battage du blé était confié à des groupes formés de trois à six hommes; d'après la tradition, l'idéal était de travailler en groupes de six, parce que les hommes qui battaient les céréales au fléau avaient ainsi la possibilité d'adopter un rythme parfait, qui leur permettait de travailler toute une journée (McNeill, 2005 : 64).

Plus qu'un remède à l'ennui, l'organisation cadentielle du travail, tout en permettant d'augmenter le temps de travail, améliore la productivité de manière notable.

En 1901, par exemple, un producteur de pêches américain découvrit que s'il payait des chanteurs pour faire travailler en rythme les ouvrières qui mettaient les fruits dans des cageots, (...) les ouvrières réussissaient à conditionner en moyenne 30 pour cent de pêches supplémentaires, ce qui rentabilisait l'argent versé aux musiciens. En 1835, un Allemand affirma qu' « un effort attentif au rythme augmentait la productivité de 25 pour cent dans toutes sortes d'activités » : il donnait comme exemples l'industrie du bâtiment, l'industrie textile, les mines, les verreries et les fabriques de cigares (McNeill, 2005 : 66-67).

Toutes ces raisons permettent d'expliquer l'importance et l'omniprésence de la cadence dans le travail agricole. À vrai dire, l'efficacité énergétique du travail collectif

cadencé est telle qu'elle permet même l'accomplissement de tâches autrement impossibles; l'érection des merveilles du monde et autres travaux monumentaux en constituent un bon exemple.

L'édification des monuments exigeait elle aussi un travail d'équipe : seuls des groupes avaient la force nécessaire pour tailler et déplacer des pierres de grande taille, en utilisant des leviers, des cordes et des rouleaux. C'est ainsi que furent édifiées les pyramides, tout comme Stonehenge et de nombreux autres monuments de l'Antiquité. En tirant et en poussant en cadence, on put obtenir des résultats inimaginables autrement (McNeill, 2005 : 65).

En raison de sa grande utilité, la pratique millénaire de la cadence au travail s'est maintenue au fil du temps, s'adaptant aux nouvelles nécessités de la société moderne. Par exemple, avec le début de la navigation au long cours, la cadence de travail s'impose à l'ensemble des activités de bord, du déchargement des navires jusqu'à la manœuvre des voiles, des palans et de l'ancre. Le développement du réseau ferroviaire constitue un autre exemple du recours au travail cadencé.

Le travail en cadence était d'ailleurs si caractéristique des chantiers de chemin de fer que l'expression argotique désignant les ouvriers qui couvrirent de rails le continent américain dans la deuxième moitié du XIXe siècle faisait directement allusion à la danse : les poseurs de rails étaient les *gandy dancers*. Cette expression renvoie aux mouvements coordonnés nécessaires à la mise en place des rails et à d'autres tâches qui exigeaient un gros effort collectif (McNeill, 2005 : 66).

En raison de cette efficacité de la cadence dans toute forme de travail collectif, il n'apparaît donc guère surprenant de constater qu'elle se soit rapidement implantée dans l'une des plus anciennes et populaires pratiques sociales de l'homme : la guerre.

2.1.3. La cadence militaire

La cadence constitue un atout militaire aussi essentiel que naturel : les observations du maréchal de Saxe (1696-1750) relativement au meilleur moyen de gérer la fatigue de ses troupes l'attestent d'ailleurs fort bien.

En quoi consiste tout le secret de l'art, et qui va sans doute paraître ridicule? Faites-les (les soldats) marcher en cadence. (...) Ce mouvement est naturel, et se fait, pour ainsi dire, de soi-même. J'ai souvent remarqué qu'en battant le drapeau, tous les soldats allaient en cadence sans intention et sans qu'ils le sussent : la nature et

l'instinct y portent de soi-même (Maurice comte de Saxe. 1757. *Mes rêveries* I. Amsterdam et Leipzig : Arkstée et merkus : 33-35; cité par McNeill, 2005 : 22).

En vertu de son efficacité énergétique, la cadence traverse l'histoire militaire de part en part. Très tôt, les grandes civilisations de l'Antiquité découvrent lors de leurs incessants conflits que « des troupes qui vont à l'ennemi d'un pas désuni, et sans observer exactement les rangs, courent toujours grand risque de se faire battre » (Végèce, *Institutions militaires*, traduction de Claude-Guillaume Bourdon de Sigrais. Paris : Prault, 1743 : 16; cité dans McNeill, 2005 : 142). Déjà connue à Sumer, en Assyrie et en Perse, cette cadence militaire connaît des développements importants en Extrême-Orient et dans le monde méditerranéen. Dans la Chine de la dynastie impériale Chou, « de très grandes armées de fantassins apprenaient à manier leur armes ensemble et en ligne tout en restant dans le rythme et en effectuant des déplacements sur le champ de bataille selon les ordres » (McNeill, 2005 : 131). Le respect de la cadence acquiert très rapidement un aspect systématique et pour ainsi dire « vital », comme le démontre l'extrait d'un traité de Wei Liao-Tzu, obscur stratège militaire du 4^e siècle avant Jésus-Christ.

Battez le tambour une fois et le pied gauche se lève vers l'avant; battez le tambour et le pied droit avance... Si le tambour manque un roulement, qu'il soit exécuté. Que ceux qui ont poussé un cri soient exécutés. Que ceux qui n'obéissent pas aux gongs, aux tambours, aux cloches et aux drapeaux mais agissent de leur propre chef soient exécutés. Quand cent hommes ont reçu leur instruction à l'art du combat, unissez-les à d'autres régiments pour former des régiments de dix mille hommes. Quand l'instruction des armées de dix mille hommes est achevée, rassemblez-les dans les Trois Armées. Quand les masses des Trois Armées pourront se diviser et se réunir, elles pourront appliquer les méthodes des combats à grande échelle. Quand leur instruction est achevée, mettez-les à l'épreuve en leur faisant effectuer des manœuvres (cité dans McNeill, 2005 : 130-131).

Dans le cas plus familier du monde méditerranéen, « les gestes cadencés dominèrent pendant quelques siècles les armées et les navires des Romains et des Grecs » (McNeill, 2005 : 132). Vers 700 avant Jésus-Christ, le développement de l'infanterie lourde et des armées d'hoplites, principale manifestation militaire de l'état de guerre endémique caractérisant les relations entre les villes du monde grec archaïque, entraîne une modification importante des techniques de combat.

Le combat n'est désormais possible qu'en formation serrée : pour le guerrier, il ne s'agit plus de faire éclater sa valeur personnelle en de grandes prouesses, mais bien

de tenir sa place entre ses deux voisins, en brandissant sa lance de sa main droite et en se protégeant du bouclier tenu de la gauche (Lévesque, 1965 : 164-165).

Ce bouleversement de la tactique militaire entraîne une toute nouvelle conception de la vertu militaire, basée sur « le respect de la discipline et la ferme volonté de rester dans les rangs, à la place qui lui a été assignée, aux côtés de ses camarades qu'il appuie et qui l'appuient » (Lévesque, 1965 : 165).

La vertu guerrière n'est plus alors de l'ordre du *thumos*; elle est faite de *sôphrosunè* : une maîtrise entière de soi, un constant contrôle pour se soumettre à une discipline commune, le sang-froid nécessaire pour réfréner les poussées instinctives qui risqueraient de troubler l'ordre général de la formation » (Vernant, 2005 : 58-59).

Au cœur de cette révolution des pratiques et des valeurs guerrières, la cadence acquiert rapidement un rôle prépondérant; le récit par Thucydide de la bataille de Mantinée l'atteste d'ailleurs fort bien.

Les Argiens et leurs alliés avançaient avec fougue et impétueusement, les Lacédémoniens, eux, avec lenteur, au rythme de nombreux joueurs de flûte dont la règle exige la présence, parmi eux, non pour des raisons religieuses, mais pour que marchant en mesure, ils avancent avec ensemble, sans rompre leur ordonnance comme les grandes armées le font volontiers lorsqu'elles s'abordent (*La guerre du Péloponnèse* V, LXX).

La maîtrise de la cadence de combat par les citoyens-soldats lacédémoniens est d'ailleurs légendaire : « certaines manœuvres exigeaient apparemment que plusieurs rangées différentes suivent le soldat placé en première ligne, brisant ainsi l'unité de la phalange et donnant naissance à des unités tactiques de huit hommes » (McNeill, 2005 : 137). Des mouvements cadencés aussi sophistiqués, tout en étant instaurés et maintenus par les chants, le son des flûtes et les commandements militaires, nécessitaient certainement de longues heures d'entraînement rigoureux.

Parallèlement à ce « cadencement » de la stratégie militaire terrestre, « une évolution comparable se dessine sur la mer » (Lévesque, 1965 : 166) : tandis que la réputation militaire de Sparte repose sur l'organisation de son armée de terre, la force d'Athènes résidait dans celle de sa puissance marine, dont l'efficacité a notamment été démontrée lors de la victoire écrasante remportée contre les Perses à Salamine (380). Ici encore, un rigoureux entraînement

cadenciel est nécessaire : chaque rameur doit ramer en cadence avec les autres, synchronisant ses mouvements grâce à des coups de maillet frappés sur une planche.

Chaque rameur devait bouger au même rythme que les autres, sans que sa rame gêne celles des rameurs placés au-dessus ou au-dessous de lui. Un écart de quelques centimètres ou un décalage de quelques fractions de seconde pouvaient provoquer une collision entre les rames, casser le rythme et diminuer la vitesse de la trière. La précision était une donnée absolument essentielle, et un équipage avait besoin d'un long entraînement pour pouvoir ramer à un rythme régulier et efficace (McNeill, 2005 : 138).

Ainsi, plus qu'un ascendant énergétique, la cadence militaire telle qu'idéalement exprimée par l'armée spartiate et la marine athénienne devait également contribuer à resserrer les liens entre les soldats et stimuler l'esprit de solidarité des troupes. Pareille transformation de l'activité militaire et navale n'est certes pas demeurée sans incidence sur la vie publique :

Pour l'équipage, de plus en plus nombreux, et pour les fantassins armés (...) on devait faire appel aux thètes, c'est-à-dire aux citoyens les moins fortunés (...). Hoplites et marins devinrent les remparts les plus solides des cités : la classe moyenne et les pauvres prenaient le pas sur les cavaliers de l'aristocratie. Or, aux yeux des Grecs, étroit était le lien entre la défense de la patrie et la participation à la vie politique. La conséquence inéluctable fut l'apparition de revendications dans les classes qui jusque-là avaient été pratiquement tenues à l'écart du pouvoir » (Lévesque, 1965 : 166-167).

Le rôle civil de la cadence militaire est patent, celle-ci contribuant à la promotion des valeurs égalitaires au sein de la vie civile. Le cas athénien l'atteste fort bien : avec la victoire navale de Salamine (480), où plus des deux tiers des vaisseaux grecs triomphant de la flotte perse à Salamine sont athéniens, « toute l'évolution ultérieure d'une Athènes tournée vers la mer et démocratique est en germe » (Lévesque, 1965 : 335).

La vie publique des deux cités qui firent le plus pour définir la spécificité de la civilisation grecque tira, pour une bonne part et peut-être entièrement, son intensité extraordinaire des émotions suscitées par des mouvements collectifs cadencés. Le lien extrêmement fort unissant les citoyens à la cité (dont la vie et la mort de Socrate sont un exemple) et les empiètements sur la vie privée que la citoyenneté impliquait (en particulier à Sparte) sont difficilement explicables autrement. Les sentiments engendrés par les mouvements synchronisés sous-tendaient les idéaux de liberté et d'égalité devant la loi qui caractérisaient Athènes et Sparte, ce qui est plus important encore. La base physique de ces sentiments explique aussi pourquoi le statut de citoyens libres et égaux était limité à la partie militairement active de la population. Ceux qui bougeaient ensemble, que ce soit sur terre ou sur mer, étaient les mêmes que ceux qui s'assemblaient pour décider de la guerre et de la paix et d'autres

questions politiques – et qui payaient le prix de leurs décisions en participant personnellement à leur mise en œuvre (McNeill, 2003 : 139).

À en croire Végèce, les légions romaines auraient repris, à la suite des Macédoniens, la pratique militaire de la formation cadencée. Dans un traité militaire dédié à l'empereur Hadrien, Élien recommande de systématiser cette pratique militaire en entraînant les légions « à effectuer en même temps un certain nombre de gestes en réponse à des « mots de commandement » » (McNeill, 2005 : 150).

Ce bref ouvrage allait s'avérer d'une importance fondamentale pour le développement de la pratique militaire en Europe comme dans le reste du monde. Reprenant quinze siècles plus tard les tactiques d'Élien fraîchement traduites du grec, Maurice de Nassau, prince d'Orange et capitaine général de Hollande de 1585 jusqu'à sa mort en 1625, entreprend avec l'aide de son cousin Johann d'organiser sur le même modèle les mouvements des arquebusiers et piquiers. Ayant déterminé que quarante-deux manœuvres différentes sont nécessaires pour le maniement du fusil à mèche et vingt-deux pour les piquiers, censés protéger les arquebusiers des cavaliers durant le temps de rechargement, Maurice et Johann associent à chacun de ces gestes élémentaires un mot de commandement, de manière à ce que chaque soldat puisse effectuer ses manœuvres en même temps que les autres. Puis, dans le but de favoriser l'apprentissage de ces manœuvres, Johann de Nassau demande à l'artiste Jacob de Gheyn de réaliser des gravures représentant chacun des mouvements et intitulés selon l'ordre vocal correspondant. Cette modernisation de la cadence militaire, plus d'un millénaire après la chute de l'Empire romain, s'avère d'une grande efficacité lors de la lutte des troupes hollandaises contre les armées espagnoles.

Quand tous les soldats effectuaient ensemble les mouvements en question en répondant aux commandements, les tirs de volée étaient plus rapides et les balles faisaient plus rarement long feu. L'entraînement, répété automatiquement dès que les soldats disposaient d'un peu de temps, permit aux soldats d'acquérir des quasi-automatismes, ce qui diminuait l'influence de la pression inhérente à la bataille. Les soldats eurent donc une puissance de feu supérieure et perdirent moins de temps : c'était un avantage indiscutable en cas d'affrontement avec des troupes n'ayant pas suivi le même entraînement (McNeill, 2005 : 151).

Fort des succès immédiats de ces stratégies d'inspiration antique, Maurice de Nassau procède progressivement à une modification totale de l'organisation militaire, de manière à parfaire l'utilisation martiale de la cadence.

Maurice de Nassau modifia la taille des unités tactiques pour permettre à la plus grande de ces unités, le bataillon (440 hommes), d'obéir aux ordres d'un seul officier. Les compagnies, les sections et les groupes, qui avaient tous un chef désigné, complétaient la chaîne de commandement. (...) Mais Maurice institua des commandements particuliers pour les manœuvres-types des unités de tailles diverses, et exigea que ses troupes s'y entraînent chaque fois qu'elles n'étaient pas en train de creuser ou que leur officier instructeur était las du drill. Quand des armées entières eurent suivi un entraînement de ce type, il devint possible d'exercer un contrôle beaucoup plus efficace sur le cours de la bataille. Les officiers purent rapidement et facilement coordonner avec une relative précision les mouvements d'unités différentes et prendre des initiatives pour répondre à des événements imprévus. Une armée de ce genre, en effet avait les mêmes atouts que le système nerveux central. Tout alla plus vite. L'obéissance devint quasi automatique. Jamais les mouvements effectifs des troupes sur le terrain n'avaient été aussi proches des intentions du commandement (McNeill, 2005 : 153).

Également, de la même manière que la cadence a contribué, par le biais des hoplites spartiates et de la flotte athénienne, au développement des valeurs civiles grecques, la pratique militaire moderne de la cadence, grâce à son pouvoir « solidarisant », s'avère d'une grande utilité sociale : puisque « des troupes bien entraînées étaient unies par un esprit de corps particulier, une disposition à obéir aux officiers sans réfléchir, et une indifférence quasi-totale à l'égard de toutes leurs autres obligations » (McNeill, 2005 : 131), enrôler les citoyens subversifs et troublants constitue alors le meilleur moyen de garantir la paix et la stabilité sociales.

La répétition quotidienne du drill, pratiqué en ordre serré pendant des heures, créait une émotion qui donnait naissance à un esprit de corps tellement puissant, parmi les recrues d'origine paysanne et les marginaux des villes qui finirent par constituer le gros des armées européennes, que les autres liens sociaux étaient relégués au second plan (McNeill, 2005 : 15).

Fort de ce double succès militaire et social, les techniques développées par le Prince d'Orange se répandent en moins de cinquante ans sur l'ensemble du continent européen comme une traînée de poudre. Avec l'expansion coloniale, la cadence militaire s'exporte aux quatre coins du globe, contribuant fortement à la domination militaire de l'Europe et de l'Occident durant plus de trois siècles.

2.1.4. La cadence gymnastique

Un autre apport important de la cadence mérite ici d'être souligné : la gymnastique. S'inspirant du culte gréco-latin de la bonne forme physique, Friedrich-Ludwig Jahn (1778-1852) ouvre le premier club de gymnastique moderne à Berlin en 1811. Dans l'ensemble, cette gymnastique prussienne s'apparente fort à la danse aérobique actuelle.

Un instructeur montrait comment effectuer un exercice de façon à ce que tout le monde puisse le voir (...). Tout le monde était censé reproduire les mêmes gestes, souvent en rythme et en musique, parfois en se laissant guider par le décompte des mouvements fait par l'instructeur (McNeill, 2005 : 161).

À l'instar de son homologue antique, cette première gymnastique moderne élaborée par Jahn présente un caractère martial très prononcé : « la défaite de l'Allemagne face à la France donna une urgence particulière à la culture de l'excellence corporelle dans le cadre de la préparation de la résistance future » (McNeill, 2005 : 160). En ce sens, plus qu'un exercice de conditionnement physique, la gymnastique mise de l'avant par Jahn a également contribué à la formation des premiers groupes paramilitaires de l'histoire.

Ses disciples se réunissaient deux ou trois fois par semaine; bientôt, on compta parmi eux de jeunes révoltés qui venaient chanter des chants patriotiques et affermir leurs muscles au vu de tous, dans les espaces verts de nombreuses villes allemandes. La préparation à l'affrontement militaire avec les Français était la toile de fond de toutes les manifestations publiques de gymnastes. Lorsque le gouvernement prussien appela réellement le peuple à se soulever contre Napoléon en 1813, les sociétés de gymnastique de Jahn s'engagèrent aussitôt. Après la guerre, le gouvernement les interdit en 1820, sous prétexte qu'elles véhiculaient des idées subversives, nationalistes et libérales. La Prusse leva cette interdiction en 1842, et les sociétés de gymnastes jouèrent un certain rôle dans la révolution de 1848. Après l'échec de ce mouvement, les exilés allemands transportèrent la gymnastique aux États-Unis, et les sociétés de gymnastique de Saint-Louis, de Cincinnati et de Louisville jouèrent un rôle modeste mais stratégique dans la Guerre civile américaine (McNeill, 2005 : 160).

Cette contribution paramilitaire de la cadence gymnastique a malheureusement joué un rôle important dans l'entraînement de l'Allemagne et de l'Occident dans le borbier nazi : croyant en la communauté de sang et conséquemment sensible à la dimension physique, infraverbale de l'interaction humaine, Hitler crée les groupes SS et SA en s'inspirant des processions et parades estudiantines des universités américaines, exploitant ainsi délibérément « les réactions émotionnelles des Allemands aux mouvements collectifs

cadencés pour créer une solidarité nationale à un niveau totalement infrarationnel » (McNeill, 2005 : 171). Ainsi, en dépit des discours exaltés et exaltants du Führer, c'est par « la capacité qu'ont les mouvements synchronisés d'unir et de barbariser une nation toute entière, quelles que soient son degré de culture et de raffinement et son développement technologique » (McNeill, 2005 : 173), que l'idéologie national-socialiste parvient à s'imposer à la nation allemande, transformant à jamais le paysage historique européen.

L'apport de la gymnastique cadentielle n'est toutefois pas strictement paramilitaire, ainsi que le démontre l'exemple de la gymnastique suédoise : l'ouverture, en 1814 à Stockholm, de l'Institut central de gymnastique par Per Henrik Ling marque en effet les débuts d'une vaste diffusion sociale de la gymnastique à l'ensemble du corps social à des fins civiles :

Ling divisa les exercices physiques en plusieurs catégories et imagina des exercices adaptés à chaque catégorie : gymnastique médicale, gymnastique militaire, gymnastique esthétique. Après lui, son fils Hjalmar (1820-1886) imagina des exercices spécifiques pour les écoliers (McNeil, 2005 : 160-161).

Le succès de la gymnastique suédoise est fulgurant : le ministère prussien de l'Instruction publique la rend obligatoire dans toutes les écoles primaires en 1862, puis dans les écoles secondaires en 1865; l'Angleterre l'introduit dans ses écoles à partir de 1877, puis l'exporte aux États-Unis par le biais de la Young Men's Christian Association (YMCA). C'est toutefois dans les pays d'Extrême-Orient que la gymnastique civile s'est implantée le plus fermement, en étant associée aux expressions physiques traditionnelles des sectes bouddhistes ainsi qu'à d'antiques arts martiaux tels le Tai Chi.

En Chine, en Corée et au Japon, la gymnastique et d'autres formes de mise en scène de mouvements synchronisés continuent de tenir une place importante et bénéficient du soutien que leur accordent ouvertement les responsables politiques et économiques, malgré les anciennes relations entre ce genre de pratiques et les prétentions impériales du Japon. (...) Les écoles, les usines, les partis politiques, mais aussi, au Japon, les sectes religieuses, font appel à des mouvements synchronisés pour créer et confirmer des liens de solidarité entre tous ceux qui participent à ces manifestations (McNeill, 2005 : 176).

Ces nombreux exemples historiques, tout en démontrant parfaitement que « le plaisir partagé est le fondement de toute expérience sociale » (Pagès, 1991 : 34), confirment

également que « l'euphorie que suscitent les mouvements synchronisés (...) reste le moyen le plus puissant dont nous disposons pour créer et entretenir une communauté » (McNeill, 2005 : 174) : que ce soit par la chasse, la danse, le drill ou la gymnastique, le fait de bouger en cadence constitue le mécanisme fondamental et antéprédicatif de tout processus de socialisation.

L'extraordinaire diversité des significations que les êtres humains peuvent attacher aux émotions éveillés par la danse (et d'autres formes moins énergiques de mouvement cadencé, comme les grandes processions solennelles et le drill) a joué un rôle fondamental dans l'élargissement et la différenciation des liens sociaux au sein de notre espèce. La danse a d'abord permis de renforcer et de stabiliser de petites communautés isolées dont tous les membres dansaient à l'occasion de certaines fêtes. La cadence a aussi rendu plus faciles certaines tâches monotones et répétitives et étendu le domaine de ce qu'il était physiquement possible d'accomplir, en permettant la coordination des efforts de groupes de travailleurs. Dans les sociétés complexes, plus vastes, les cérémonies publiques faisant appel au mouvement cadencé ont régulièrement contribué à consolider les autorités en place, en même temps que, de leur côté, d'innombrables sous-groupes utilisaient la puissance émotionnelle de la danse pour définir et renforcer leurs identités particulières (McNeill, 2005 : 83).

Or, de tels mouvements collectifs cadencés constituent essentiellement des cas de « synchronisation assistée »: les danses guerrières, festives, gymnastiques et militaires ainsi que les manœuvres maritimes et terrestres s'effectuent en cadence avec le rythme imposé d'une musique régulière, de couplets répétitifs ou d'un cycle de commandements précis. Chez l'homme, la socialisation de la cadence constitue donc plus souvent qu'autrement une opération « médiate », nécessitant l'utilisation de techniques ou d'auxiliaires de synchronisation que « l'homme emploie systématiquement (...) pour organiser ses travaux et ses distractions, et surtout pour coordonner son activité avec celle de ses semblables » (Fraisie, 1957 : 43). À vrai dire, plus une société humaine se développe, plus elle doit recourir à des processus de synchronisation élaborés afin de maintenir la cadence. En ce sens, le progrès de l'humanité, plus qu'un strict processus de socialisation de la cadence, constitue le résultat d'un long processus de « technocratisation », c'est-à-dire de perfectionnement et de diffusion de diverses techniques de synchronisation. C'est à ce processus particulier, spécifiquement humain et à la source de sa sensibilisation au concept de « temps », qu'est consacré le prochain et dernier chapitre.

CHAPITRE IV

LA TECHNOCRATISATION DE LA CADENCE

Le génie humain constitue assurément l'une des marques caractéristiques de cette espèce : pour Merleau-Ponty notamment, l'homme se distinguerait des autres animaux par son aptitude technologique, autrement dit par sa capacité à se construire des outils et des instruments.

Tandis qu'un système physique s'équilibre à l'égard des forces données de l'entourage et que l'organisme animal s'aménage un milieu stable correspondant aux a priori monotones du besoin et de l'instinct, le travail humain inaugure une troisième dialectique, puisqu'il projette entre l'homme et les stimuli physico-chimiques des « objets d'usage » (Gebrauchsobjekte), - le vêtement, la table, le jardin, - des « objets culturels », - le livre, l'instrument de musique, le langage, - qui constituent le milieu propre de l'homme et font émerger de nouveaux cycles de comportement (Merleau-Ponty, 2002 : 175-176).

Alors que la construction de nids ou de barrages dans le monde animal constitue un comportement instinctif, inscrit dans le génome en vue de la conservation de l'espèce, les primates peuvent apprendre à modifier l'environnement selon leurs besoins et spontanément, par exemple à se servir d'une branche d'arbre comme d'un bâton. Toutefois, l'inventivité, la créativité et le génie simiesques n'ont rien de comparable à ceux de l'homme.

Si le singe cueille une branche pour atteindre un but, c'est qu'il est capable de conférer à un objet de la nature une valeur fonctionnelle. Mais le singe n'arrive guère à construire des instruments qui serviraient seulement à en préparer d'autres, et (...), devenue pour lui un bâton, la branche d'arbre est supprimée comme telle, ce qui revient à dire qu'elle n'est jamais possédée comme un instrument dans le sens plein du mot. Dans les deux cas, l'activité animale révèle ses limites : elle se perd dans les transformations réelles qu'elle opère et ne peut les réitérer. Au contraire, pour l'homme, la branche d'arbre devenue bâton restera justement une branche-d'arbre-devenu-bâton, une même « chose » dans deux fonctions différentes, visible « *pour lui* » sous une pluralité d'aspects (Merleau-Ponty, 2002 : 190).

Cette aptitude spécifiquement humaine au « génie perspectif » a joué un rôle fondamental dans le développement démographique et le progrès des sociétés humaines. De par l'économie et l'efficacité énergétiques qu'ils confèrent, « les progrès technologiques, tant majeurs que mineurs, peuvent être considérés comme étant analogues à des mutations » (Lovelock, 1990 : 156).

Cette longue succession d'inventions, depuis une période située à 40 000 ans environ jusqu'à aujourd'hui, a permis aux humains de mettre une proportion de plus en plus importante des ressources énergétiques de la terre au service de leurs besoins et de leurs désirs (McNeill, 2005 : 38).

Cette amélioration technologique des termes de l'échange énergétique avec l'environnement s'est essentiellement effectuée par le biais de l'instrumentation et de l'outillage, correspondant respectivement à la « mutation » artificielle des fonctions sensorielle et motrice. Les outils ont essentiellement pour fonction de permettre à l'homme des actions plus efficaces sur l'environnement : une roche peut couper ou découper, mais une hache ou un couteau le fait mieux (Michaels et Carello, 1981 : 54-55). L'instrumentation est pour sa part un complément aux capacités sensorielles de l'humain; elle lui permet d'effectuer des activités exploratoires plus efficaces, en lui révélant des aspects de son environnement autrement inaccessibles.

Instruments such as telescopes, thermometers, and Geiger counters (...) are an extension of our perceptual systems, just as tools are extensions of our action systems. Instruments permit a wider range of exploratory activities (...). For example, to determine whether or not a bone is broken, one could rely on vision or touch alone. This method, however, would not reveal small breaks or hairline fractures. An x-ray of the bone, on the other hand, would reveal facts not available to unaided senses (Michaels et Carello, 1981 : 55).

Autrement dit, de la même manière que les « avantages vitaux » conférés par la variabilité biologique individuelle s'étendent à l'ensemble d'une espèce par le biais de la transmissibilité et de la sélectivité, la plus-value sensori-motrice conférée par les instruments et outils s'étend à l'ensemble de l'espèce humaine par le biais de la socialisation. Cette institutionnalisation de la technologie, autrement dit cette « technocratisation », constitue pour ainsi dire le complément artificiel de l'autorégulation par socialisation et du développement conséquent des sociétés humaines. Dans le cas du processus particulier de

synchronisation, essentiel à la dynamique sociale, le génie humain a contribué au développement de nombreux appareils spécifiquement consacrés à faciliter le processus autorégulateur de socialisation et à l'étendre au-delà du seul cadre communautaire.

4.1. La synchronisation artificielle

Au sens large, les chronomètres désignent des appareils à fonction d'évaluation durative, par exemples des horloges, des calendriers, des sabliers et des cadrans solaires. À la différence d'instruments de mesure tels que les balances, les règles ou les compas, les chronomètres constituent des « étalons de mesure mobiles, (...) dont les positions changent continuellement » (Elias, 1996 : 126).

Les positions et les séquences d'événements qui prennent place dans le flot ininterrompu du devenir se succèdent et ne se laissent ni juxtaposer ni comparer directement. Lors donc que, pour une raison quelconque, les membres d'une société tiennent à définir des positions et des trajectoires qui se présentent l'une après l'autre, ils ont besoin d'une seconde succession d'événements dans laquelle les changements individuels, tout en obéissant à la même loi d'irréversibilité, sont marqués par la réapparition régulière de certains modèles séquentiels. Ces modèles qui incluent le retour de séquences élémentaires semblables, sinon identiques, servent alors (...) d'unité de référence et de moyens de comparaison pour des segments de processus appartenant à une autre série et qui ne peuvent être remis directement en relation en raison de leur caractère successif. En leur qualité de symboles régulatifs et cognitifs, ces unités de référence acquièrent la signification d'unités de temps (Elias, 1996 : 14-15).

À première vue, le vaste attirail « chronotechnologique » manufacturé par l'homme semblerait jouer un rôle spécifiquement instrumental, au sens défini ci-haut: horloges, calendriers, sabliers et autres appareils chronotechnologiques constitueraient des auxiliaires à la perception, ayant pour fonction de graduer la durée en segments isochrones, autrement dit de « mesurer le temps ». Parler en ces termes peut toutefois porter à confusion : tel qu'affirmé précédemment, « le simple fait d'évoquer l'action de « mesurer » le temps paraît assimiler le temps à un objet physique mesurable, tel qu'une montagne ou un fleuve » (Elias, 1996 : 57).

Dans cette perspective, il semblerait préférable de considérer les appareils chronotechnologiques non pas comme des instruments de « mesure du temps » mais comme

des outils de synchronisation, grâce auxquels « les individus et leurs groupements sont *mis en rythme, en phase*, d'interaction multiple » (De Peretti, 1997 : 201). En ce sens, ils constitueraient des auxiliaires non pas sensoriels, mais de coordination et de régulation motrices : par exemple, selon l'heure qu'elle affiche, « l'horloge peut amener une personne à se mouvoir précipitamment ou, selon le cas, à s'installer dans un restaurant du voisinage dans la perspective d'une attente prolongée » (Elias, 1996 : 43). Ainsi, alors que des pulsations répétitives ou des mots de commandements permettent l'instauration d'une cadence motrice au niveau de communautés de rameurs, de matelots, de danseurs, de musiciens, de laboureurs ou d'arquebusiers, le développement d'outils de synchronisation tels que les horloges et les calendriers permettent une meilleure organisation systémique des relations et échanges énergétiques et ainsi d'étendre le champ de synchronisation sociale à des dimensions autrement impossibles.

Certes, cette fonction essentielle des horloges et calendriers repose entièrement sur leur utilisation par tous les membres d'une société : les synchroniseurs artificiels que sont les horloges et calendriers n'exercent leur fonction de régulation sociale que dans la seule mesure où chaque individu apprend à les utiliser, et à orienter sa propre conduite en fonction d'eux. Pour cette raison, chaque individu apprend dès son plus jeune âge à entrer dans la cadence des horloges et calendriers, de la même manière qu'il apprend son alphabet et la langue de sa communauté.

De même qu'une langue ne peut remplir sa fonction qu'aussi longtemps qu'elle est la langue commune de tout un groupe humain et la perdrait si chaque individu se fabriquait son propre langage, de même exactement les horloges ne peuvent remplir leur fonction que si les configurations changeantes formées par leurs aiguilles mobiles – donc, en un mot, les « heures » indiquées par elles – sont communes à l'ensemble d'un groupe humain. (...) L'individu (...) est toujours obligé de régler son propre comportement sur le « temps » institué du groupe auquel il appartient, et plus s'allongent et se différencient les chaînes d'interdépendance fonctionnelle qui relient les hommes entre eux, plus sévère devient la dictature des horloges (Elias, 1996 : 150).

Cette autorégulation ne résulte cependant pas d'un choix délibéré, voire de l'adhésion volontaire et réfléchie de chaque individu à un hypothétique contrat social : les hommes « n'ont pas choisi cette manière de vivre. Elle leur a été imposée par une longue et aveugle évolution sociale » (Elias, 1996 : 203).

Dans de nombreuses sociétés de l'ère moderne (...), le temps exerce de l'extérieur – sous forme d'horloges, calendriers et autres horaires de transport – une contrainte éminemment propre à susciter le développement d'une autodiscipline chez les individus. Elle exerce une pression relativement discrète, mesurée, uniforme et dépourvue de violence; mais qui n'en est pas moins omniprésente et à laquelle on ne peut échapper (Elias, 1996 : 28-29).

Il n'y a donc pas lieu de parler d'apprentissage, mais plutôt de dressage, voire même d'asservissement : tout individu, pour mener une vie sociale normale, est tout simplement obligé d'entrer dans la cadence artificielle de son groupe, autrement dit de se familiariser avec la chronotechnologie en usage dans sa société et à orienter sa conduite en fonction d'eux.

En effet, chaque enfant en grandissant devient vite familier du « temps » en tant que symbole d'une institution sociale dont il éprouve très tôt le caractère contraignant. Si, au cours des dix premières années de son existence, n'apprend pas à développer un système d'autodiscipline conforme à cette institution, s'il n'apprend pas à se conduire et à modeler sa sensibilité en fonction du temps, il lui sera très difficile, sinon impossible, de jouer le rôle d'un adulte à l'intérieur de cette société » (Elias, 1996 : 15-16).

Cette « technocratisation » de la cadence, en soumettant une proportion toujours plus nombreuse de l'humanité à une dictature technologique de plus en plus dense, précise et omniprésente, représente un moteur civilisateur essentiel au maintien de la cohésion du réseau social actuel : ces inventions chronométriques « assujettissent les individus à des durées constantes et complémentaires (...); elles rythment les mises en œuvre d'énergie et les mouvements; elles assurent des *normes*, évitant les effets tourbillonnants ou chaotiques. Les activités marchent au même pas, ou suivant des rythmes articulés et décelables » (De Peretti, 1997 : 204). Un tel processus, tout en confirmant une nouvelle fois la fonction régulatrice et énergétique de la cadence en tant que dynamique régulière et attractrice, permet également de souligner son rôle dans la sensibilisation de l'humanité à la dynamique ambiante, à laquelle le concept de « temps » réfère : en facilitant l'activité exploratoire de repérage, la « technocratisation » de la cadence a permis aux êtres humains d'être davantage sensibles à la dynamique de leur environnement et ainsi étendre leur concept de « temps » à ce qui bouge et dure.

L'expérience du temps comme flux uniforme et continu n'est devenue possible que par (...) l'établissement progressif d'une grille relativement bien intégrée de

régulateurs temporels, tels que les montres à mouvement continu, la succession continue des calendriers annuels, les ères enjambant les siècles (nous vivons aujourd'hui au 20^e siècle après la naissance du Christ). Là où ces instruments font défaut, cette expérience du temps fait également défaut (Elija, 1996 : 51-52).

Le présent chapitre consiste à dresser un portrait de la « régulation de la conduite et de la sensibilité humaines » (Elias, 1996 : 43) par le développement progressif de la synchronisation calendérique et horaire.

4.1.1. La cadence calendérique

La synchronisation des premières sociétés humaines est basée sur des événements physiques ponctuels, périodiques et de durée limitée, principalement les rythmes cosmiques, ainsi que des phénomènes physiques qui leur sont apparentés, tels les marées ou le cycle des saisons (Elias, 1996 : 244).

Il s'agissait toujours de relations de caractère personnel entre eux-mêmes et un ordre de réalité spécifique, visible ou tangible. Les hommes vivaient l'apparition de ce que nous appelons aujourd'hui le « soleil » ou la « nouvelle lune » comme des signes qui leur étaient adressés pour accomplir quelque action particulière ou bien s'en abstenir (Elias, 1996 : 167) :

Les moyens dont disposent ces sociétés en ce qui a trait à la synchronisation sont alors fort limités : « les gens ne peuvent indiquer leur date de naissance ou leur âge que par référence à des événements singuliers conservés dans la mémoire collective, par exemple « au moment de la grande tempête » ou « peu de temps avant le meurtre du vieux chef » (Elias, 1996 : 59). Toutefois, force est de constater que leurs besoins en la matière sont tout aussi minimaux, puisqu'« il existe de nombreux domaines dans lesquels aucune détermination du temps n'est nécessaire » (Elias, 1996 : 231). À vrai dire, l'observation des rythmes ambiants ne sert que d'indicateur destiné à renseigner les hommes sur le moment propice pour effectuer les activités vitales à la survie du groupe, par exemple la chasse, la cueillette ou la migration.

Cette situation se modifie toutefois avec le développement de l'agriculture et de l'élevage (-3000 et -2000 av. J.-C.) : « les hommes, à travers leur exploitation du monde végétal, sont soumis à une discipline jusque-là inconnue » (Elias, 1996 : 62). Limitée

jusqu'alors au seul cadre quotidien des besoins élémentaires et des pulsions, la synchronisation s'inscrit désormais dans un cadre rythmique plus large et s'étend à de nouvelles activités : dans le but de soutirer le meilleur de la terre, les hommes doivent coordonner avec une rigoureuse précision les diverses activités agricoles (semence, récolte, ...) avec le cycle des saisons.

En raison de ces nouvelles exigences de synchronisation, l'élaboration « d'un réseau de repères temporels dont l'extension régulière qui puisse servir de cadre de référence » (Elias, 1996 : 62) devient alors une priorité. C'est ainsi que parallèlement à l'émergence des communautés agricoles, « des ensembles primitifs mais permettant d'enregistrer avec précision les déplacements du soleil, de la lune et des planètes commencèrent à apparaître partout dans le monde » (Hall, 1984 : 150). De ces premiers raffinements en matière d'astronomie émerge la technique calendaire.

De son origine jusqu'à ses perfectionnements plus récents, ce premier instrument chronométrique est basé sur les mouvements cycliques du soleil et de la lune : « le soleil borne les jours, les phases de la lune limitent une période stable; le mouvement de l'un et de l'autre décrit dans l'espace un cycle de plus longue période qui scande l'ensemble des phases de l'activité agricole et pastorale » (Attali, 1982 : 17). De cette cadence cosmique proviennent les deux premiers repères calendériques : l'année solaire et le mois lunaire.

Selon que les groupes sociaux qui les utilisent sont principalement nomades ou sédentaires, la base astronomique des premiers calendriers est différente : les nomades ont davantage confiance dans le rythme lunaire, qui désigne les mois nécessaires à leur métier de pasteurs. Les peuples sédentaires, au contraire, ont besoin de prévoir le déclenchement des saisons agricoles; les mouvements du soleil permettent de mieux les annoncer » (Attali, 1982 : 39).

Les premiers calendriers, apparaissant à Sumer il y a six millénaires, sont fondés sur l'observation du cycle mensuel de croissance et de décroissance de la lune.

Pour bon nombre de peuples orientaux et pour les Arabes en particulier, c'est la lunaison, le mois, qui est la division importante, et cela s'explique aisément car dans les régions désertiques de l'Orient les saisons sont peu marquées, tandis que les nuits généralement claire invitent à l'observation des phases lunaires (Attali, 1982 : 6).

Plus sophistiqués, les premiers calendriers solaires, apparaissant en Égypte à l'époque de la XII Dynastie (3 000 av. J.-C.), consistent essentiellement en la détermination et la modélisation « du temps mis par le soleil – considéré dans sa relation à des hommes spectateurs et centres de référence – à regagner un point du ciel choisi par eux comme point de départ » (Elias, 1996 : 69).

Les Égyptiens (...) étaient particulièrement bien placés pour donner à l'année solaire toute son importance; ils avaient sous les yeux un phénomène tout à fait remarquable par sa netteté et sa périodicité : la crue du Nil qui se répétait annuellement avec une précision mathématique, fertilisant régulièrement ce qui sans elle n'eût jamais été qu'un désert (Attali, 1982 : 6).

Ces deux calendriers lunaire et solaire, « résultat d'inlassables observations du ciel et des impitoyables exigences des cycles alimentaires » (Attali, 1982 : 38), sont toutefois basés sur des mouvements rythmiques aux périodes incompatibles : « le mouvement apparent du soleil, auquel les hommes doivent des unités de temps telles que le jour, la nuit ou l'année solaire, ne peut être directement mis en relation avec celui de la lune auquel nous devons des unités telles que le mois » (Elias, 1996 : 244). En ce sens, quiconque tente de faire correspondre annualités et mensualités se voit confronté à un sérieux problème « astromathématique » : « un calendrier lunaire vrai a pour effet de faire passer le début des saisons par chaque mois au cours d'un cycle de 33 ans » (Attali, 1982 : 49). Toute tentative d'harmonisation calendérique lunisolaire nécessite donc l'intercalation d'un 13^e mois à durée variable : à cet effet, les Babyloniens avaient conçu un calendrier lunisolaire comprenant 3 intercalations en 8 ans ou 7 intercalations en 19 ans.

Devant ces complications chronométriques suscitées par l'incompatibilité des cycles lunaire et solaire, certaines sociétés vont même jusqu'à employer plusieurs calendriers. Le cas de la société égyptienne en est fort illustrateur, celle-ci ayant eu recours pendant très longtemps à trois calendriers différents, rythmés par les mouvements du Nil et leurs conséquences agricoles.

Le premier est fondé sur le synchronisme des mouvements de Sirius et de ceux du Nil : les dignitaires ont observé que le jour où Sirius apparaît avant le lever du Soleil, la crue du Nil atteint Memphis et Héliopolis. Un autre calendrier, solaire celui-là, aide à prévoir les crues, et un troisième, lunaire, répartit le travail en trois saisons : la première est celle de l'inondation; la seconde, celle des semailles, la troisième celle

de la récolte. Chaque saison est partagée en quatre mois de trente jours désignés par leur rang dans la saison. Cinq jours supplémentaires sont ajoutés à la fin du quatrième mois. (...) Quand l'Égypte est en ordre, on ajoute aussi un jour de plus tous les quatre ans. On peut penser que ce jour a été oublié dans les périodes de troubles; les fêtes agricoles sont alors complètement décalées par rapport aux réalités météorologiques; l'agriculture est en péril, l'économie du pays se désorganise. Jusqu'à ce qu'un pharaon moins faible que les autres, éclairé par des savants travaillant dans la « Maison du Temps », remette le calendrier lunaire en accord avec les exigences solaires de l'agriculture (Attali, 1982 : 43).

En plus de nécessiter des connaissances astronomiques et mathématiques exceptionnelles, la tentative de faire correspondre les mois lunaires à l'année solaire a été la source d'une grande incertitude politique. Le cas de la république romaine constitue l'exemple le plus notoire.

Lorsque la tradition exigeait une rotation des responsables politiques, comme c'était le cas dans la Rome républicaine, il pouvait être extrêmement important, surtout dans les périodes de lutte pour le pouvoir, que les dates de prise et de cessation de fonctions soient connues officiellement et de manière indubitable. Les élections devaient pouvoir se tenir à la date légale; les impôts, fermages, dettes et autres intérêts devaient pouvoir être payés à terme échu (Elias, 1996 : 244).

À cette époque, l'élaboration du calendrier incombe exclusivement au collège des Pontifes :

Tous les deux ans, un prêtre, le Grand Pontife, ajoute un mois intercalaire, dont il fixe la durée, pour rattraper le retard du calendrier sur l'année solaire (...). Le premier jour du mois, le Pontife convoque les citoyens pour leur annoncer les jours fériés : c'est d'ailleurs du latin *calare*, appeler, que vient le mot calendrier (Attali, 1982 : 51).

En raison de cette mainmise sur le calendrier, « les Pontifes disposent ainsi d'un vrai pouvoir politique et ils peuvent abréger ou prolonger à leur guise les échéances des magistratures » (Attali, 1982 : 52). Le calendrier romain se trouve donc constamment au centre d'interminables luttes politiques et administratives : « des groupes qui y avaient intérêt pouvaient (...) inciter les prêtres à allonger ou à raccourcir une année » (Elias, 1996 : 245). Dans les dernières années de la République, « les difficultés de la mise en corrélation des événements physiques et sociaux, jointes aux effets des luttes de pouvoir, avait ainsi conduit à la complète désorganisation du calendrier » (Elias, 1996 : 245); pire encore, l'ensemble de la vie civile romaine se voyait affectée par cette instabilité chronométrique.

Pour remédier à cette situation intenable, César convie dès son accession au pouvoir un astronome et mathématicien égyptien du nom de Sosigène et lui confie la tâche de réformer le calendrier romain. Créateurs des calendriers solaires, « les Égyptiens possédaient déjà à l'époque une longue tradition en matière d'observation des astres et d'établissement de calendriers » (Elias, 1996 : 245) : à la suite de plusieurs siècles d'expérimentations calendériques, les Égyptiens ont progressivement abandonné l'utilisation simultanée de plusieurs calendriers au profit d'une seule et même organisation lunisolaire de l'année. Or, c'est sur la base de cette initiative qu'est élaboré le calendrier impérial.

Les Égyptiens avaient tenté de mettre en correspondance les unités de temps fondées respectivement sur les mouvements de la lune et du soleil en construisant une année de douze mois de trente jours à laquelle ils ajoutaient, au début ou à la fin, cinq jours supplémentaires, de manière à mettre leurs mois en accord avec l'année solaire. César enleva un jour au mois de février et répartit les six jours supplémentaires dont il disposait désormais sur les six mois impairs allant de janvier à novembre, arrangement qui préfigure clairement le calendrier moderne. Peu après sa mort, son mois de naissance reçut en son honneur le nom de « juillet » (Elias, 1997 : 246).

Cette réforme calendérique, caractérisée par l'imposition d'une structure fixe et par l'instauration d'années bissextiles, constitue le cadre cadentiel général autour duquel se constituera progressivement la société occidentale.

Dans les siècles suivant la chute de l'Empire romain et jusqu'à la fin du Moyen Âge, l'Église veille au maintien du calendrier julien sur l'ensemble de la chrétienté. De sérieux problèmes de synchronisation demeurent toutefois, auxquels l'Église se doit de répondre. Le premier consiste en l'absence de procédé de datation commun, permettant « de se situer avec précision dans la succession des générations » (Elias, 1996 : 70). Depuis les débuts de la pratique du comput annuel, la principale méthode de datation consiste à baser ce décompte en fonction d'un événement historique important, un « moment axial » censé introduire une nouvelle ère. L'instauration d'un règne dynastique constitue le moment axial auquel les premières sociétés ont le plus généralement recours :

Dans l'Antiquité, l'ère la plus longue et la plus célèbre fut celle qui comptait les années à partir du règne du roi babylonien Nabonassar. D'abord introduite dans la tradition chaldéo-babylonienne pour des raisons politiques, cette manière de calculer le temps en fonction d'une succession de souverains et de leurs années de règne permit d'enregistrer d'une manière purement descriptive, à partir du nombre d'années

écoulées, la distance entre des événements sidéraux inhabituels, tels que des éclipses de lune (Elias, 1996 : 71).

D'autres stratégies de comput annuel sont développées par la suite : les Grecs comptent les années en se référant à la tenue quadriennale des jeux olympiques et pythiques, tandis que les romains datent leurs événements *ab urbe condita*, soit à partir de l'année de fondation de la ville, en 753 av. J.-C. Avec le déclin de l'Empire et l'émergence du pouvoir ecclésiastique, un nouveau moment axial est employé pour le comput des années : la naissance du Christ.

C'est, semble-t-il, un moine scythe, Denys le Petit, qui propose en 432 de l'ère chrétienne de compter les années à partir de la naissance du Christ. D'après ses recherches, Jésus-Christ serait né le 25 décembre 753 de l'ère de Rome, ou la quatrième année de la 194^e olympiade (Attali, 1982 : 67).

Le succès de ce procédé ecclésiastique de datation est demeuré sans équivalent dans l'histoire : s'étant rapidement implanté dans le monde occidental, il prévaut encore aujourd'hui, même hors de la chrétienté. Un second problème relatif au comput annuel demeure toutefois : alors qu'un accord sur le choix d'un moment axial apparaît relativement tôt dans l'histoire, un désordre certain règne quant au début de l'année, celle-ci variant d'un pays à l'autre et d'une époque à l'autre : la Pâque et le début de l'année juive débutent initialement à l'équinoxe d'automne, pour ensuite être fixées à l'équinoxe du printemps suite à la sortie des Juifs d'Égypte; en Grèce, les années commencent au solstice d'été; à Rome, les années républicaines commencent à l'équinoxe du printemps, les années juliennes au solstice d'hiver. La situation ne s'améliore guère au cours du Moyen Âge.

Jusqu'au XII^e siècle, l'anarchie est totale, certaines villes commencent l'année au 1^{er} mars, d'autres le 15 décembre, d'autres encore à Noël, au 1^{er} janvier, à Pâques ou au 1^{er} avril. En France sous les Capétiens, l'année commence presque partout à Pâques. En 1235, le concile de Reims rappelle que « l'usage de la France » pour le début de l'année est la date de l'Annonciation, c'est-à-dire le 25 mars, et que les cadeaux de Nouvel An s'échangent au début d'avril. Il y a là source de grande confusion : l'année 1347 commence le 1^{er} avril, c'est-à-dire à Pâques, et se termine aux Pâques suivantes, soit le 20 avril (Attali, 1982 : 133).

Il va sans dire que de telles confusions nuisent grandement au développement du commerce renaissant ainsi qu'à l'évolution des diverses sociétés : « de tels décalages ne facilitent ni l'établissement des contrats d'intérêt, ni la tenue des comptes des marchands et

des foires, ni celle des archives de police ou des villes » (Attali, 1982 : 133). Devant la nécessité socio-économique d'une synchronisation minimale de l'organisation calendaire, les grandes compagnies commerciales adoptent dès le 14^e siècle leur propre année fiscale, laquelle commence « à la seule des fêtes liturgiques dont la date soit fixe et simple, c'est-à-dire la Circoncision, au 1er janvier » (Attali, 1982 : 133).

La pratique établie par les marchands s'étend rapidement à l'ensemble de la communauté économique européenne : « en dépendaient le paiement régulier et périodique des impôts, des taxes et des salaires, ainsi que l'exécution de multiples contrats et de divers engagements » (Elias, 1996 : 68). Cette initiative commerciale et financière tarde toutefois à être acceptée et ratifiée par les nations européennes, principalement en raison de l'opposition de l'Église à ce que l'année débute au premier jour d'un mois nommé en l'honneur d'une divinité païenne. Finalement, l'Allemagne adopte cette pratique en 1560; trois ans plus tard, un édit de Charles IX fixe le commencement de l'année au 1^{er} janvier pour tout le royaume de France; « cet édit rencontre une vive opposition et le Parlement, qui refuse d'abord de l'enregistrer, ne s'y soumet qu'en janvier 1567 » (Attali, 1982 : 134). En France, l'année 1567 commence ainsi le premier janvier, l'an 1566 ne durant que six mois. Cette réforme calendaire ne s'impose que lentement dans les autres États européens, l'Angleterre étant la dernière à l'adopter en 1751.

Au-delà de ces complications computationnelles, c'est l'imperfection même du calendrier julien qui constitue le principal problème calendaire auquel est confronté l'Église.

Le cours du temps avait mis en évidence l'insuffisance des prescriptions de César et de Sosigène en vue de mettre en corrélation les unités de temps reliées respectivement à la lune et au soleil. Tandis que l'organisation des États, au moins dans certaines parties de l'Europe, atteignait un niveau d'efficacité et de pacification interne proche de l'antique *pax romana* et que cette organisation, de concert avec les progrès de l'urbanisation et le développement du commerce, augmentait le besoin social d'une régulation publique du « temps », les défauts du calendrier julien étaient de plus en plus vivement ressentis (Elias, 1996 : 246).

Le cas particulier de la fête pascale illustre bien l'importance du décalage entre le calendrier et les mouvements solaires, devenu manifeste après plus de 1500 ans de régulation calendérique julienne ininterrompue.

La tradition juive avait associé la fête de Pessah à la première pleine lune suivant le début du printemps. En 325 après J.-C., le concile de Nicée avait fixé la date de Pâques chrétiennes au dimanche suivant la première pleine lune après l'équinoxe du printemps. La date de cette dernière, fixée primitivement au 25 mars, avait alors déjà été avancée au 15. Au 16^e siècle, l'écart (...) s'était accru de dix jours supplémentaires (Elias, 1996 : 246-247).

À la lumière de cette désynchronisation « cosmo-calendérique », remarquée dès le 13^e siècle, le Pape Grégoire XIII, aidé du médecin et astronome napolitain Luigi Lilio et du savant Clavius, impose une réforme radicale de l'organisation calendérique à l'ensemble de la chrétienté : observant que « les mouvements du soleil et de la lune seraient corrélés d'une manière mieux adaptée aux besoins humains si les années marquant la fin d'un siècle, et non divisibles par 400, n'étaient pas bissextiles » (Elias, 1996 : 247), le Pape propose de « resynchroniser mouvements lunaires et solaires » en supprimant dix jours au calendrier ainsi que trois jours tous les quatre siècles : ainsi, « une bulle papale supprima dix jours de l'année 1582, décidant que le lendemain du 4 octobre serait le 15 octobre et non pas le 5 » (Elias, 1996 : 69); parallèlement, « toutes les années dont le millésime se termine par deux zéros cessent d'être bissextiles, sauf celles dont le nombre de siècles est divisible par quatre, telles 1600 et 2000 » (Attali, 1982 : 132).

Cette modification de l'organisation calendérique constitue un moment crucial dans l'évolution de l'organisation calendérique, conduisant « à une meilleure adaptation des symboles du calendrier à leur tâche qui est de mettre en corrélation les mouvements apparents du soleil et de la lune à la fois entre eux (...) et avec le cours des événements sociaux sur la terre » (Elias, 1996 : 247). Pourtant, alors que l'instauration du calendrier julien s'est effectué sans difficultés, l'imposition de cette réforme n'a guère été aussi simple, principalement en raison de l'abolition des dix jours.

En Italie, en Espagne et au Portugal, le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 devient le vendredi 15 octobre. En France, par ordonnance d'Henri III en date du 3 novembre 1582, le lendemain du 9 décembre 1582 est le 20. Aux Pays-Bas, le lendemain du 14 du même mois de cette année-là est le jour de Noël (...). En 1584, les États

catholiques d'Allemagne et de Suisse adoptent la réforme. La Pologne, malgré quelque résistance et une révolte à Riga, l'adopte en 1586, la Hongrie en 1587. Dans les pays protestants où ce calendrier est ressenti comme une emprise de l'Église catholique, la résistance est plus longue (...). Il faut attendre le XVIII^e siècle pour que les protestants des Pays-Bas, d'Allemagne et de Suisse s'inclinent. Dans certains villages suisses et allemands, il faut même recourir à la police pour imposer l'emploi du calendrier grégorien. En Angleterre, lorsque le 2 septembre 1752 eut pour lendemain le 14 septembre, des cortèges parcoururent les rues en criant : « Rendez-nous nos onze jours! » (Attali, 1982 : 132-133).

L'instauration de cette réforme grégorienne du calendrier julien constitue l'ultime étape du perfectionnement de l'organisation calendérique. Celle-ci modèle d'ailleurs si bien la marche cosmique depuis que l'artificialité de cette correspondance tend aujourd'hui à être oubliée.

Les calendriers (...) ont atteint un degré d'adéquation à la réalité sans précédent. Cette équivalence brouille aux yeux de beaucoup la distinction entre, d'une part, les séquences d'événements qui jalonnent leur propre vie et, d'autre part, la relation construite par la civilisation humaine entre ces séquences et celles sur lesquelles reposent les calendriers. Beaucoup ne peuvent ainsi s'empêcher d'avoir l'impression que c'est le temps lui-même qui passe, alors qu'en réalité le sentiment du passage porte sur le cours de leur vie et peut-être aussi sur les transformations de la nature et de la société (Elias, 1996 : 29-30).

De nos jours, la ronde des jours, des semaines, des mois, des années, des décennies, des siècles et des millénaires s'effectue pour ainsi dire « naturellement », chaque individu ajustant ses propres activités à cette grille rythmique artificielle de la même manière que son métabolisme s'adapte au cycle photique annuel et à la ronde saisonnière. Un tel degré d'adéquation et d'intégration technologiques peut également être observé du côté des horloges et de la synchronisation horaire. Toutefois, le découpage artificiel de la journée rendu possible par cet instrument a été la source de difficultés beaucoup plus importantes que la technologie calendérique, poussant le génie humain à des niveaux de créativité et de débrouillardise jusqu'alors inégalés.

4.1.2. La cadence horaire

Dans les premières sociétés humaines, la meilleure manière de faire référence à de courts intervalles de temps s'effectue par référence directe à des activités ponctuelles, usuelles et dont le moment d'exécution et la durée sont fixes et bien connus.

Chez les Nandis, (...) on date le temps par le moment auquel ont lieu les travaux quotidiens : « Les bœufs sont partis au pâturage » signifie qu'il est 5h30. « On a détaché les moutons », qu'il est 6 heures. Il en va de même pour les durées à Madagascar : « une cuisson de riz » veut dire une demi-heure, « une friture de sauterelles » signifie un instant, les indigènes de la rivière Cross disent encore : « L'homme est mort en moins de temps qu'il n'en faut pour que le maïs ne soit tout à fait grillé » (Attali, 1982 : 20).

Parallèlement, la meilleure manière de se repérer au cours d'une journée consiste à se référer à la course du soleil, émergeant à l'est le matin pour se coucher à l'ouest le soir.

En Afrique, les Baruya mesurent (...) le temps à partir de l'observation des diverses positions du soleil : le sommet d'une montagne leur sert de cadran solaire. Les cérémonies d'initiation les plus importantes s'y déroulent quand le soleil se lève juste au-dessus de cette montagne. Les hommes, dispersés sur les pentes d'autres montagnes, se tiennent alors debout, le visage tourné vers le soleil, pour en recevoir le premier rayon et noter ainsi le début du cycle (Attali, 1982 : 55).

Certes approximative, cette technique particulière d'observation du mouvement solaire est toutefois d'une fiabilité et d'une régularité idéales pour les sociétés d'alors. C'est d'ailleurs sur la base de cette méthode particulière de repérage diurne, connue de toutes les civilisations anciennes, que sont conçus les premiers outils de synchronisation horaire : les gnomons.

4.1.2.1. La cadence « hydro-solaire »

Le gnomon constitue le plus ancien outil de synchronisation de l'histoire humaine : le plus vieil artefact conservé est d'origine égyptienne et date approximativement du 14^e siècle av. J.-C. Le procédé de sa fabrication est fort simple : il suffit de fixer un bâton à la verticale et de graduer un plan quelconque à partir de l'ombre ainsi projetée par le soleil. Cette facture simplissime s'accompagne toutefois d'un grave défaut : au cours de l'année, pour une même heure de la journée, l'ombre varie à la fois en longueur et en direction, ce qui nécessite un barème de graduation spécifique à chaque localité. C'est pour combler cette lacune que sont mis au point les premiers cadrans solaires, dont la tige, parallèle à l'axe du monde, a l'avantage de ne pas varier en direction. La première description d'un cadran solaire nous est fournie par le livre des Rois; il s'agit de celui d'Achar, roi de Juda, qui vivait vers 730 avant J.-C.

En dépit de leur grande précision, les cadrans solaires ont pour principal défaut de ne pas fonctionner de nuit ou par temps nuageux. L'horloge à eau, vieux dispositif horaire contemporain du gnomon, ne présente toutefois pas le même défaut : « le plus simple de ces appareils consiste en un récipient cylindrique gradué dans lequel s'écoule, par un petit tuyau, l'eau d'un bassin maintenu à niveau constant par un déversoir auxiliaire » (Attali, 1982 : 15). La plus ancienne horloge à eau connue, conservée au Caire, date du règne d'Aménophis III, soit il y a plus de 3500 ans. Pour palier au silence nocturne et nuageux du cadran solaire, des horloges hydrauliques sont utilisées conjointement avec celui-ci; cette technique particulière mène également à la création des premières horloges astronomiques, gigantesques machines « hydrosolaires » mimant à la fois la rotation quotidienne du ciel et celle, annuelle, du firmament :

Descendantes des planétariums, des équatoriaux et des astrolabes qui permettaient aux astronomes de mesurer le temps sidéral et le vrai temps solaire, les premières horloges, moins instruments de mesure du temps que visualisation du modèle de l'univers, imitaient, au début plutôt mal, le temps uniforme de la sphère céleste, qu'elles ramenaient de la sorte sur la terre (Pomian, 1984 : 261).

Les Grecs passent rapidement maîtres en la confection de ces horloges; leurs réalisations demeurent d'ailleurs sans égal européen jusqu'à la fin du Moyen Âge.

Une des plus célèbres et des plus complexes horloges astronomiques à eau que l'histoire ait retenues est celle construite en 75 avant J.-C. au pied du Parthénon, l'*Horologion* d'Andronicos ou Tour des Vents. Elle marque, par sa technique et sa renommée, un point d'aboutissement des clepsydres à peu près jamais dépassé ensuite. Une tour de vingt mètres porte neuf cadrans solaires, une girouette, une clepsydre et d'autres instruments. Un des cadrans tournants porte une carte du ciel et un soleil mù hydrauliquement derrière un treillis représentant l'horizon, l'azimut et l'altitude. Un autre cadran donne l'heure. Elle est alimentée par une source dont la légende veut qu'elle se nomme « Clepsydre », d'où le nom donné ultérieurement à toutes les horloges hydrauliques (Attali, 1982 : 61).

Suite à la prise par les Arabes de la ville d'Alexandrie, cœur de la culture et de la science hellénistiques, le savoir grec en matière d'horlogerie émigre au Moyen-Orient : en Syrie, à Byzance, à Bagdad, à Ctésiphon. En raison des contraintes propres au rite islamique, les mosquées principales de chaque ville se dotent d'un astrolabe afin de déterminer le moment précis du début des prières; « les Arabes font alors œuvre originale et, à partir du 9^e

siècle, produisent des clepsydes, des automates à flotteurs et à mouvements transmis par des chaînes et des cordelettes » (Attali, 1982 : 62).

En Extrême-Orient, la Chine tarde pour sa part à reprendre les innovations chronométriques grecques : parallèlement aux cadrans astronomiques responsables de l'organisation calendaire, les Chinois ont essentiellement recours aux chandelles graduées et autres techniques plus ou moins développées pour organiser leurs activités et en déterminer la durée.

Des horloges à encens brûlent une poudre combustible répandue le long d'un petit labyrinthe. On se sert aussi d'une pièce de bois enduite de colle : on creuse sur la colle une légère entaille remplie de la poussière d'une plante qui brûle très lentement ; de chaque côté de l'entaille, on perce à des distances déterminées des trous pour pouvoir y ficher des clous. Près de ces trous, on marque la longueur des heures du jour et de la nuit pendant six mois, depuis l'équinoxe de printemps jusqu'à celui d'automne. Pour les six autres mois, on substitue les indications des heures du jour aux indications des heures de nuit et vice versa. On emploie aussi des allumettes composées de bois de santal pilé et réduit en pâte (Attali, 1982 : 64).

Puis les empereurs chinois encouragent à partir du 5^e siècle le développement et la sophistication de la technique chronométrique pour leur propre honneur et celui de l'empire. Le savoir-faire chinois en matière d'horlogerie atteint son apogée au moment de la construction, en 1090, de l'horloge dite de Su Sung.

Elle fonctionnera trois siècles, dans le secret de la Maison du Calendrier des empereurs. Ayant la forme d'une tour d'une dizaine de mètres de hauteur, surmontée d'une sphère en bronze actionnée mécaniquement, elle indique les heures et les autres « moments spéciaux » du jour et de la nuit. A l'intérieur de la tour, un globe mobile montre les étoiles et l'endroit où l'on peut observer chacune d'elles du haut de la plate-forme. Sur la façade de la tour, des petits personnages portant des cloches annoncent les heures. L'ensemble du système fonctionne grâce à une roue dont le mouvement, entraîné par l'eau, est régulé par un échappement mécanique : la roue se déplace d'un cran tous les quarts d'heure. Utilisant le premier échappement mécanique connu, et encore très imprécise, cette horloge constitue sans aucun doute le point ultime d'aboutissement des calendriers astronomiques hydrauliques (Attali, 1982 : 65-66).

Puis, par le biais du développement des échanges commerciaux avec le monde arabe, le savoir chinois s'implante dans le monde islamique et en Espagne. Peu à peu, l'Europe s'initie aux nouvelles techniques horaires par l'intermédiaire des chroniques marchandes et des cadeaux offerts par les souverains orientaux. Ce nouvel engouement européen vis-à-vis le

savoir-faire oriental en matière de chronométrie constitue assurément l'une des sources du retour en force de l'Europe sur l'échiquier mondial.

4.1.2.2. La cadence monacale

Après la chute de l'Empire romain, la chronotechnologie disparaît pratiquement du territoire européen, pour ne refaire surface qu'avec l'apparition des premiers couvents. Ces établissements monacaux, « fermes de l'Église catholique calquées sur les villas romaines » (Attali, 1982 : 68), deviennent rapidement le moteur économique et civilisateur de l'Europe médiévale.

Des moines itinérants et des moines ermites se regroupent en des forteresses économiquement autonomes, de plus en plus grandes et puissantes, capables de résister aux Vandales et aux serfs révoltés. Une vie quasi-militaire s'y installe en même temps que l'ordre chrétien s'y institue. Un moine, qui deviendra Benoît, édicte des règles de fonctionnement générales, valables selon lui partout dans les monastères. Ilot de paix, utopie d'un mouvement perpétuel aux activités réglées par un instrument de mesure du temps, le monastère, en affichant sa vie à l'extérieur, devient alors lui-même une immense horloge à l'usage du monde. Sa réussite est exceptionnelle. En deux siècles, il fait battre l'Europe entière à son rythme (Attali, 1982 : 69).

Les monastères bénédictins sont alors soumis à un horaire strict, dit « canonial », basé sur les sept prières quotidiennes du Chrétien ; la règle bénédictine voit à ce que chaque instant de la vie du moine soit destinée à une occupation précise et ajustée à l'organisation canoniale. Cette réorganisation horaire aidant, une attention particulière est alors dévolue à la précision et la régularité horaires. Un tout nouvel outil de synchronisation fait alors son apparition : la cloche. Son utilisation, en permettant la propagation sonore d'un signal horaire sur un territoire très étendu, va profondément transformer la dynamique sociale européenne pendant plusieurs siècles.

Dès le VII^e siècle, (...) une bulle du pape Sabinien avait décrété que les cloches des monastères, qui utilisaient en général une clepsydre associée à un marteau, devaient sonner sept fois par vingt-quatre heures. Ces ponctuations régulières de la journée constituaient les heures canoniques, marquant les moments consacrés à la dévotion : matines (prière nocturne), laudes (une heure avant le lever du soleil), prime (première heure du jour), tierce (milieu de la matinée), sexte (midi), none (milieu de l'après-midi), vêpres (coucher du soleil) et enfin complies (une heure après le coucher) (Klein, 2003 : 23-24).

Grâce à l'activité économique florissante des couvents, de petits villages analogues à ceux des temples-cités de l'Antiquité, comprenant ateliers, magasins, églises, bureaux ou écoles, se constituent graduellement. Par l'intermédiaire de la cloche, les clients, ouvriers et autres individus vivant dans ces communautés périphériques ajustent progressivement leurs activités à la routine monacale. Dès l'époque carolingienne, cette cadence conventuelle s'implante dans les abbayes citadines.

Alors que le clergé urbain ne se soumet jusque-là à aucun emploi du temps précis, les autorités ecclésiastiques essaient peu à peu de le discipliner et de le mettre au pas des couvents. Chronogang, évêque de Metz, réforme le mode de vie du clergé cathédral vers le milieu du 8^e siècle. (...) Par la suite, il impose au clergé de sa ville (...) un mode de vie de type conventuel rythmé par les heures canoniales et les différentes étapes de l'office divin (Attali, 1982 : 74).

En 802, Charlemagne ordonne au clergé urbain « de sonner les heures canoniales, afin d'instruire leurs peuples sur la manière et les heures auxquelles il convient d'adorer Dieu » (Attali, 1982 : 76). En 813, le Concile de Châlon délègue aux abbayes et évêchés la responsabilité de l'enseignement religieux. Apparaissant avec la cadence canoniale des premières sociétés conventuelles puis des abbayes urbaines, le souci de régularité contribue ensuite, par le biais de l'économie et de l'éducation religieuses, à la renaissance de la ville européenne, étendant du même coup la synchronisation sociale à la population urbaine émergente.

4.1.2.3. La cadence urbaine

À la suite du système conventuel, le développement fulgurant du monde urbain à partir du 12^e siècle contribue à tisser autour des rythmes agricoles les premiers maillons du réseau économique européen : « les foires s'étalent sur la totalité de l'année afin de couvrir toute l'activité des marchands. (...) Le rassemblement des échanges et des hommes d'affaires tourne d'une ville à l'autre, comme un mouvement d' « horlogerie à répétition » (Attali, 1982 : 146-147). Cette intensification de la dynamique sociale, tout en étant associée à la renaissance économique de l'Europe, entraîne également l'émergence de nouveaux impératifs de synchronisation.

Dès le XII^e siècle (...) apparaissent des îles et des archipels entiers littéralement dominés par la monnaie et par ceux qui s'occupent professionnellement de la manier : les marchands, les changeurs, les banquiers avec leur cortège de notaires, comptables, copistes, etc. Tous ces gens pratiquent des métiers qui les obligent à quantifier le temps et cela avant même qu'il ait commencé à être couramment mesuré par les horloges. Car, pour eux, le temps a un prix (Pomian, 1984 : 260).

Afin de répondre à ces nouvelles demandes de coordination horaire, la cloche est importée des couvents : « les échevins se mettent à utiliser les cloches pour convoquer aux assemblées, appeler à la défense. Elles convient aux réunions du Conseil de la ville, mobilisent les habitants, indiquent l'extinction des feux ». (Attali, 1982 : 81). Contribuant également au retour du bon vieux système romain des 24 heures, plus précis que le système canonial, les cloches urbaines entraînent la construction de la plus importante infrastructure urbaine médiévale après les fortifications : le beffroi. Grâce à ce nouvel édifice, chef d'orchestre de la nouvelle cadence urbaine, l'heure n'est plus seulement entendue, mais également affichée

En ville, les activités se diversifient; l'énoncé du temps ne signifie plus la même chose pour chacun. Aussi faut-il, de façon continue et non plus discontinue, donner l'heure, faire participer le peuple urbain au rythme nouveau, afficher le temps. Alors que sur les tours des églises romanes, aucun espace n'est prévu pour placer un cadran, sur les beffrois nouveaux, les clepsydres montent en haut des tours pour être visibles des foules (Attali, 1982 : 85).

Plus qu'un simple clocher, le beffroi devient très rapidement un objet de contemplation : en plus des cloches et des cadrans, les beffrois sont équipés de superbes jacquemarts, gigantesques jeux d'engrenages et de figures animées dont le mécanisme, alliant à la fois ingéniosité mécanique et inspiration artistique, consiste à faire sonner les cloches aux heures et parfois même aux quarts d'heure. Plus qu'un outil de synchronisation horaire, le beffroi devient un puissant symbole urbain, que les seigneurs féodaux n'hésitent d'ailleurs guère à attaquer lorsqu'il s'agit de conserver leur ascendant politique sur leurs sujets citadins:

Lorsqu'un prince ou un roi veut s'opposer aux bourgeois, son premier acte d'autorité en est la démolition. Retirer à une ville ses cloches et son jacquemart, c'est lui retirer non seulement le moyen mais le droit de s'assembler, de communiquer, donc de gérer ses affaires (Attali, 1982 : 85).

En Europe du Nord, alors cœur économique du monde, un problème chronométrique particulier se pose alors : par temps froid, l'eau des clepsydres situées au sommet des beffrois

gèle rapidement, ce qui nuit fortement à la régularité et à la précision horaires. Ces conditions climatiques particulières, loin de nuire au développement du savoir-faire européen en matière d'horlogerie, sont à l'origine de l'apparition de l'horloge à poids, première machine industrielle de l'histoire humaine.

Aussi étonnant que cela puisse paraître, on ne connaît pas avec précision la date à laquelle l'horloge astronomique s'est affranchie de l'eau, ni qui a mis finalement au point cette invention nouvelle. La difficulté de détermination de l'époque à laquelle les horloges deviennent entièrement mécaniques est en partie due à l'ambiguïté du terme « horloge », formé des mots grecs « hora » (heure) et « legain » (dire). Il désigne, depuis le Xe siècle, aussi bien une clepsydre, un sablier, qu'une horloge à poids (Attali, 1982 : 96).

Pour un temps indéfini, le fonctionnement des horloges repose sur un mécanisme hybride à eau et à poids; la plus ancienne de ces horloges à double mécanisme dont il reste une trace physique a été offerte à la cathédrale de Beauvais vers 1300. L'existence d'un tel mécanisme « hydro-gravitationnel » résulte avant tout des difficultés chronotechnologiques particulières suscitées par l'utilisation de la force gravitationnelle.

Dans les tout premiers prototypes d'horloges totalement mécaniques, le poids - une pierre ou un bloc de métal - est suspendu à une corde enroulée autour d'un cylindre. Mais la réalisation de ces prototypes se heurte immédiatement à un problème très difficile pour les savants de ce temps. Comment stabiliser la vitesse de ce cylindre alors que la chute du poids l'accélère (...) ? Un mécanisme régulateur est nécessaire, un *échappement* (Attali, 1982 : 97)

Ce problème propre aux horloges à poids est résolu à la fin du 13^e ou au début du 14^e siècle avec l'invention du foliot, dispositif particulier permettant de « bloquer le poids et donc la rotation des rouages, cadrans et aiguilles, pendant un temps bref et à intervalles réguliers » (Attali, 1982 : 98-99). En 1360 et après seize ans de dur labeur, Giovanni di Dondi complète en 1360 la construction d'une telle horloge à foliot pour la ville de Padoue; le traité relatant la mécanique et l'histoire de la construction de cette horloge, rédigé en 1364, constitue la première description connue d'une horloge entièrement mécanique.

Véritables bijoux d'ingéniosité et de sophistication technologiques, ces nouveaux automates horaires du 14^e siècle demeurent toutefois fort imprécis et irréguliers, pouvant varier de plus d'une heure par jour. Également, ces premières horloges mécaniques se détraquent constamment.

Elles (...) ne donnent l'heure que si elles sont réglées en permanence par des clepsydres et des sabliers. D'ailleurs, lorsqu'il y a cadran, la taille des chiffres romains utilisés et la grosseur de l'aiguille unique ne permettent qu'une lecture approximative de l'heure. Elles ne sont pas encore autonomes. Il leur faut un servant permanent, un « orlogeur », qui remonte les poids, surveille les mouvements et les sonneries, chauffe de l'huile en hiver pour éviter que les rouages ne gèlent, les remet à l'heure solaire du lieu à l'aide de clepsydres et de cadrans solaires (Attali, 1982 : 103).

Cette innovation chronotechnologique majeure s'accompagne d'une réorganisation totale de la grille horaire : c'est à cette époque qu'apparaît la division des heures en soixante minutes et des minutes en soixante secondes. Bien que purement théorique à l'époque, cette réorganisation horaire contribue toutefois à l'instauration des heures dites équinoxiales, au détriment des heures solaires locales.

Dans l'antiquité, l'agriculture primait tout. Aussi les 12 heures du jour correspondaient-elles au temps réellement utilisable pour les travaux de la campagne, c'est-à-dire à celui qui sépare l'aurore du crépuscule, tandis que les 12 heures de nuit étaient accordées au repos et au sommeil. Les heures ainsi définies étaient fort inégales pour le jour et pour la nuit, par suite de l'inclinaison du plan de l'équateur terrestre sur le plan de l'écliptique; dans nos climats, ces heures dites « temporaires » étaient au mois de juin deux fois plus longues le jour que la nuit et ne devenaient égales qu'au moment des équinoxes (Attali, 1982 : 11).

Grâce à l'instauration du système équinoxial, la grille horaire se détache pour ainsi dire de l'heure solaire locale, laquelle varie selon le moment de l'année et la position latitudinale et longitudinale. Pareille dissociation, qui permettra ultérieurement à l'humanité d'imposer une grille horaire artificielle à l'échelle du globe, constitue le point culminant de l'une des périodes les plus importantes de l'histoire chronotechnologique.

Multipliation des horloges mécaniques dans les villes; généralisation de la division de la journée en vingt-quatre heures égales, ayant chacun soixante minutes, une minute étant divisée à son tour en soixante secondes purement théoriques, au demeurant, car on ne savait pas les mesurer (...): le XIV^e siècle est l'époque la plus importante dans toute l'histoire du temps depuis l'Antiquité jusqu'aux débuts du nôtre (Pomian, 1984 : 264).

En raison de tous ces bouleversements horaires, l'horloge marque profondément la culture de son époque, devenant le symbole d'un nouvel idéal de régularité et de précision. Ainsi, en 1382, l'évêque de Lisieux, Nicolas Oresme, compare le monde à une gigantesque horloge mécanique, créée et régulée par Dieu. Dans la société marchande tout

particulièrement, « être aussi régulier qu'une horloge » devient synonyme d'efficacité et de succès; peu à peu, parallèlement à l'instauration de cette nouvelle grille horaire, la classe bourgeoise et se synchronise à la cadence des horloges.

Plus qu'une simple métaphore, l'association de l'horloge à la réussite et à l'exactitude bourgeoises est à l'origine de la privatisation de l'horlogerie : l'horloge entre dans les maisons des grands marchands au début du 16^e siècle; parallèlement, l'invention du ressort, source d'énergie fiable et compacte, permet la construction des premières horloges portatives, munies d'un anneau et portées autour du cou : « le premier artisan dont le nom soit cité comme constructeur de montres portables est un artisan de Nuremberg, Pierre Henlein. (...) Il fabrique en 1512 de petites horloges marchant quarante heures » (Attali, 1982 : 159). Particulièrement onéreuses, les horloges domestiques et montres deviennent le principal symbole de l'émergence de la classe bourgeoise européenne : « dès qu'elles prennent le contrôle de l'Europe, les classes bourgeoises apprennent à leurs enfants le respect d'emplois du temps aussi astreignants que l'étaient ceux des couvents aux siècles antérieurs » (Attali, 1982 : 128).

En dépit de leur grande popularité, ces premières horloges privées demeurent essentiellement ornementales : qu'elles entrent dans les salons de riches marchands ou soient portées au cou, elles souffrent de la même irrégularité et imprécision que leurs homologues de clocher et de beffroi. À vrai dire, ce n'est qu'avec l'invention du pendule que l'horloge acquiert une véritable régularité :

En 1638, Galilée publie la théorie du pendule dans ses *Discorsi e dimotrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*. En 1641, son fils Vincenzo et l'horloger Vivan dessinent une horloge à poids utilisant un pendule comme régulateur. Elle ne sera jamais construite. La première horloge dotée d'un pendule est réalisée par Camerini à Rome en 1655. En 1656, à La Haye, Christian Huygens, qui travaille indépendamment de Galilée, conçoit une horloge à pendule. Il la décrit en 1657 et un horloger, Coster, la construit la même année (Attali, 1982 : 157).

Trois ans après Coster, Hooke construit à Londres une horloge alliant pendule et ressort, dont le décalage n'est plus que de quelques minutes par jour. Cet exploit est de taille : « l'horloge, lorsqu'elle devient pendule, constitue le premier système artificiel capable de produire quelque chose en série : du temps » (Attali, 1982 : 179). Cette plus grande précision

et régularité des horloges à pendule et ressort encouragent progressivement les citadins et bourgeois européens à orienter leur propre conduite en fonction d'une même cadence. Outil fondamental du commerce européen renaissant, l'horloge à pendule et à ressort accompagne l'économie européenne dans sa grande aventure coloniale et mercantile : participant à cette toute première vague de mondialisation économique, l'horloge monte à bord des navires européens, entraînant avec elle un bouleversement important des techniques de navigation hauturière.

4.1.2.4. La cadence maritime

Avec l'expansion coloniale de l'Europe, l'établissement progressif du système mercantiliste et l'accroissement conséquent des liens entre navigateurs et bailleurs de fonds, le commerce maritime devient rapidement d'une importance vitale pour l'économie européenne. Fort d'un dynamisme jamais vu depuis l'époque hellénistique, le transport maritime est toutefois l'occasion de nombreuses difficultés « topologiques » : alors que la latitude, mesurée depuis l'Antiquité à l'aide du soleil et des étoiles, est relativement facile à obtenir, il en va tout autrement de la longitude, puisqu'« il faut à la fois déterminer l'heure à l'endroit où l'on se trouve et à un endroit dont on connaît le méridien » (Attali, 1982 : 1984 : 166). Jusqu'alors, la mesure longitudinale repose sur un procédé plutôt compliqué : l'estime par distances lunaires.

À un angle mesuré entre un bord de la lune mobile et une étoile fixe de première grandeur, correspond une heure de méridien d'origine, fournie par un almanach. Il suffit au pilote d'attendre la coïncidence, octant à l'œil, pour connaître l'heure du lieu d'observation. Un calcul laborieux s'ensuit (Attali, 1982 : 1984 : 166).

Pour régler ce problème, Gemma Frisius propose en 1530 une stratégie particulière, consistant à calculer le décalage entre l'heure locale et celle du port d'attache : la terre prenant 24 heures pour compléter 360 degrés de rotation, chaque heure de décalage entre le temps local indiqué par la position du soleil à midi et celle du port d'attache indiqué par une horloge de bord correspond à 15 degrés de longitude, soit l'équivalent de 1000 milles équatoriaux. Bien qu'astucieuse, pareille stratégie nécessite toutefois des horloges d'une régularité que celles du temps de Frisius ne possèdent pas encore. Plus régulières, les

horloges à ressort et à pendule peuvent remplir ce dessein; cependant, l'utilisation marine de ces horloges entraîne l'émergence de problèmes de synchronisation particuliers, propres à la navigation maritime.

D'un côté, alors qu'un pendule oscille normalement par temps calme, son balancement fluctue énormément lorsque la mer s'agite, l'empêchant ainsi de maintenir un rythme parfaitement régulier. Huygens, parallèlement à la découverte précédemment mentionnée du phénomène de synchronisation, résout rapidement le problème.

En 1660, Huygens met au point la première horloge à pendule spécialement conçue pour être utilisée en mer, suspendue par un cadre métallique. Fixé à un plafond, l'axe du pendule reste ainsi horizontal quel que soit le tangage du navire. Cette horloge est de surcroît bien plus précise que les modèles précédents. La marine française, lors d'une expédition contre les Turcs en 1669, utilise deux horloges de Huygens pour faire le point et obtient des résultats plus précis que ceux de l'estime. Un vaisseau, après avoir parcouru en tous sens 5 500 kilomètres, atterrit aux îles du Cap-Vert : l'erreur sur le point est de 150 kilomètres par l'horloge de Huygens, et de 600 kilomètres par l'estime (Attali, 1982 : 164).

Une difficulté chronotechnologique plus importante attend toutefois les horlogers : il s'agit de la contraction et de la dilatation des métaux, problème dont la résolution nécessite des connaissances sidérurgiques extraordinaires.

La principale source d'erreur est l'influence des variations de température sur la marche des horloges : on observe un retard au chaud et une avance au froid. Les montres avec oscillateur balancier-spiral de l'époque subissent ainsi un retard de plusieurs secondes par degré et par jour lorsque le spiral est en acier et le balancier en laiton. Il faut donc trouver un moyen de compensation et rectifier cet effet de la température afin que la période de l'oscillation reste constante dans un intervalle de température compris entre 0° et + 40°C environ. Rien ne le permet à ce moment (Attali, 1982 : 168).

Les Pays-Bas décident les premiers de s'attaquer à ce problème délicat. C'est toutefois l'Angleterre qui déploie les efforts les plus considérables à cette fin.

En juillet 1714, le Parlement vote la promesse de 10 000 livres sterling à tout inventeur, anglais ou non, qui trouvera un moyen de mesurer la longitude à un degré près, c'est-à-dire à 60 milles marins près, 15 000 livres si elle est déterminée à 40 milles près, et 20 000 livres si elle est à 30 milles près. Une commission est créée pour examiner les projets et accorder les primes. Elle peut aussi accorder des aides à ceux qui suggèrent des idées susceptibles de faire progresser la recherche. Jusqu'en 1768, la commission distribuera 18 000 livres (Attali, 1982 : 169).

Les plus grands inventeurs et cerveaux de l'époque rivalisent alors d'ingéniosité et de débrouillardise dans le but de remporter cette loterie ; toutes les connaissances et les techniques les plus récentes relatives aux propriétés thermiques des métaux sont alors mises à contribution. C'est finalement John Harrison, un horloger écossais autodidacte, qui remporte le concours.

John Harrison (...) y passe sa vie et réussit à inventer un dispositif compensant les effets des écarts de température sur la précision de la mesure du temps. Pour cela, il fixe le pendule à la tige par une série de tringles parallèles en acier, en laiton, en bronze et en zinc, disposées symétriquement de part et d'autre de la tige du pendule. Le nombre de ces tiges varie en fonction de la différence entre les coefficients de dilatation des métaux utilisés pour le pendule et la tige. La première horloge de Harrison, H. 1, pèse 33 kg; elle est essayée sur un bateau allant à Lisbonne en 1732. C'est un succès : le capitaine du bateau, Roger Wills, atteste qu'au retour, le chronomètre lui a permis de corriger une erreur d'un degré dans l'évaluation de sa position à l'entrée de la Manche. La Commission lui accorde une première prime de 10 000 livres. Harrison construit alors trois autres modèles de plus en plus dépouillés, établissant des précisions croissantes lors d'essais en mer en 1739, 1745 et 1761. (...) Harrison produit lui-même un cinquième modèle : H. 5. Après trente ans d'efforts, son invention est enfin au point et se diffuse très vite. Dès 1772, des chronomètres de série, sur le modèle de Harrison, sont utilisés dans toute la marine de commerce anglaise. (Attali, 1982 : 172).

Grâce aux prouesses techniques de Harrison ainsi qu'à l'esprit d'initiative de l'Angleterre, le chronomètre de marine permet aux navires de la flotte anglaise de synchroniser leurs déplacements selon une même cadence horaire. Cet exploit, tout en contribuant à hisser l'empire britannique au sommet du commerce maritime et mondial, confère du même coup à la nation anglaise un rôle de premier plan dans l'élaboration de la mappemonde.

Alors que, depuis le 16^e siècle, chaque nation maritime se sert de son principal observatoire comme méridien de base, peu à peu les références des marins se déplacent vers ceux des plus puissants pays. Le méridien de Paris d'abord (...) est, pendant deux siècles, le plus utilisé pour l'établissement des cartes marines. Puis, vers 1750, quand la flotte anglaise dépasse en tonnage celles des autres nations européennes, l'observatoire anglais de Greenwich devient la référence principale des marins (Attali, 1982 : 237).

L'interconnexion internationale des réseaux d'échanges, stimulée par le commerce maritime, connaît un développement sans précédent avec la révolution industrielle. C'est ainsi que sous l'égide du dicton « le temps, c'est de l'argent », le chronomètre de marine,

merveille de précision et de régularité, « débarque des bateaux et entre dans les usines » (Attali, 1982 : 213). La cadence horaire, d'abord l'affaire du monde monastique, puis de la bourgeoisie et du personnel maritime, s'impose avec la révolution industrielle au prolétariat.

4.1.2.5. La cadence industrielle

Bouleversement culturel, technologique et financier sans précédent, la révolution industrielle repose sur un vaste et fulgurant processus de mécanisation du travail et du quotidien. En l'espace de quelques générations, les sociétés les plus développées du monde occidental deviennent de véritables communautés d'hommes-machines, réglées sur la cadence artificielle de l'horloge, premier et plus important des automates. L'horlogerie, « première profession à sortir de l'artisanat et de l'art de cour » (Attali, 1982 : 183), joue d'ailleurs un rôle déterminant dans l'initiation du mouvement d'industrialisation.

En 1749, un horloger français, Frédéric Japy (...) est le premier horloger à penser à produire un maximum de biens par unité de temps. Il est aussi le premier entrepreneur à augmenter la rentabilité de sa production par un usage optimal du temps pensé explicitement comme de l'argent (Attali, 1982 : 185).

La montre constitue d'ailleurs « le premier objet industriel produit en grand nombre pour la consommation de masse » (Attali, 1982 : 186-187). Quant aux horloges proprement dites, elles deviennent rapidement les meilleures amies des industriels, exerçant leur pouvoir synchroniseur sur le rythme de vie d'une main-d'œuvre européenne de plus en plus importante : des portiers contrôlent les heures d'entrée et de sortie des employés ; le port des montres est interdit en milieu de travail afin que le patron puisse user de l'horloge à sa guise, jusqu'à ce que la loi intervienne en ordonnant aux industriels de maintenir l'heure juste. C'est d'ailleurs à cette époque que l'horloge mécanique devient un objet d'apprentissage universel, la bourgeoisie européenne inculquant aux populations salariées d'Europe ce même idéal de régularité et de ponctualité auquel elle s'est conformée quelques siècles plus tôt.

Dès l'école, au 18^e siècle, on apprend aux enfants une nouvelle ponctualité, liée au travail. Il ne s'agit plus maintenant d'enfermer les enfants des pauvres, mais de leur apprendre à accepter de travailler, quelles qu'en soient les conditions. En 1770, des prédicateurs anglais proposent qu'ils soient employés dans des manufactures où il leur serait dispensé deux heures d'instruction par jour (...). Un peu partout à travers

l'Angleterre, les élèves des Écoles méthodistes du Dimanche apprennent la ponctualité et la discipline de l'usine » (Attali, 1982 : 200-201).

En somme, tant au niveau professionnel et religieux que pédagogique, la révolution industrielle impose une toute nouvelle conception de l'homme : « c'est l'ouvrier qui accepte de travailler aussi longtemps que le capitaliste le décide, qui obéit aux règles de ponctualité et de régularité fixées par lui, mais qui se repose assez pour consommer » (Attali, 1982 : 206). De nombreuses innovations techniques et technologiques contribuent à parfaire la synchronisation des activités humaines à la cadence des machines.

Il ne s'agit plus d'obtenir de chaque homme qu'il travaille seulement au plus vite, mais qu'il obéisse à des normes de temps objectives, où la durée de chaque acte est calculée par des chronomètres, puis, plus tard, lui est imposée par le mouvement d'une chaîne. Successivement, Taylor édicte le chronométrage de chaque acte, et Ford agence chaque acte chronométré en une chaîne d'actes dépendant l'un de l'autre, défilant devant le travail. Si c'est en 1860, à Cincinnati, qu'est d'abord expérimentée la chaîne mobile pour l'abattage des bêtes en série, elle ne se généralisera qu'après que l'objectivation du temps de travail par W. Taylor l'aura rendu possible (Attali, 1982 : 221).

Parallèlement, l'instauration des techniques de production tayloristes ainsi que de la chaîne de montage, tout en développant le travail cadencé en équipe, favorisent l'instauration du travail de nuit, lequel permet le fonctionnement continu des machines et par le fait même permet de les rentabiliser plus rapidement.

Ce développement des techniques de production n'est pas sans conséquences sur le perfectionnement et l'extension de la synchronisation horaire : « la précision de la mesure du temps est elle-même améliorée par la production à la machine, *et donc en série*, de certaines pièces. Ceci fait baisser le coût des pendules et donne aux classes moyennes accès à la consommation d'objets industriels » (Attali, 1982 : 179). Par son asservissement toujours plus prononcé à la mécanique horaire et industrielle, le prolétariat devient un véritable rouage des horloges et des machines-outils.

La fixation des ouvriers à des postes de travail dont l'emplacement est rigoureusement déterminé par la configuration du système de machines fait perdre à chaque ouvrier le peu de contrôle qu'il a encore sur la cadence de son travail. Le mouvement linéaire et continu de la chaîne interdit la constitution de stocks entre chaque poste de travail et soumet l'ouvrier au rythme du système de machines, le réduit à la répétition de quelques gestes élémentaires conçus dans le département

d'ingénierie, lui-même soumis à la même exigence de division du travail (Attali, 1982 : 228-229).

C'est également à cette époque que naît la rémunération chronométrée : alors que certaines fabriques anglaises, suisses et françaises mesurent le travail en dizaines de minutes, une fabrique de bijoux et montres de Paris appartenant à S.M. Oppenheim rémunère ses employés à la minute et pénalise les moindres pauses quotidiennes.

Bien que productives, les « machines prolétariennes » ne peuvent toutefois suivre la cadence de leurs homologues métalliques : sensibilisé dès le début du 19^e siècle à l'importance de l'organisation horaire à laquelle s'est soumise la classe bourgeoise à la fin du Moyen Age, les syndicats ouvriers s'organisent rapidement vers le milieu du siècle en faveur du raccourcissement du temps quotidien de travail et du paiement des heures supplémentaires. Devant l'instabilité sociale et économique causée par les innombrables grèves et lockouts, la Loi finit par s'en mêler : en 1847, l'État du New Hampshire impose pour la première fois un maximum de 10 heures de travail par jour.

Au total, au 19^e siècle, à travers des conflits entre les pouvoirs publics, les entrepreneurs et les salariés, avec l'appui ou l'hostilité de doctrines valorisant le travail ou « la passe », l'activité ou « l'oisiveté », la durée moyenne d'une année de travail ouvrier passe d'environ 4000 heures à environ 1800 heures. Et ceux des pays qui ont organisé cette baisse le plus rapidement sont à la pointe du progrès industriel (Attali, 1982 : 211-212).

Suivant cette « humanisation » de la cadence de travail, une véritable organisation du temps de repos et de loisirs se met en place ; les industries jouent à cet effet un rôle prépondérant, mettant sur pied diverses organisations sportives et culturelles dans le but de garder le contrôle du rythme de vie de leur main-d'œuvre tout en s'assurant de sa santé physique et mentale, essentielle à la conservation d'une force de travail efficace.

Par ces nombreux développements, l'usine, après le monastère, la cloche et le bateau, contribue à accroître le degré de synchronisation de l'homme au tictac de l'horloge : « tous et chacun doivent vivre à des heures identiques ou, en tout cas, cohérentes entre elles » (Attali, 1982 : 229). Progressivement, la société humaine se mécanise et l'horloge devient l'image même de la dynamique sociale :

En 1802, un horloger français, Ferdinand Berthoud, écrit : « C'est par l'usage des horloges que les hommes peuvent employer tous les moments nécessaires aux travaux (...) de la vie civile. L'homme règle par son moyen l'heure du travail et celle du repos, celle de son repas et de son sommeil. C'est par cette heureuse distribution du temps que la société elle-même marche comme l'horloge, et qu'elle forme, lorsqu'elle est bien organisée, une sorte de rouage dont les mouvements successifs sont les travaux de tous les membres qui la constituent » (Attali, 1982 : 178).

Avec la production en série et à bon marché de presses d'impression à vapeur dès 1814, l'industrialisation permet le développement de la littérature périodique. Cette prolifération des journaux et revues, conjointement au développement des réseaux télégraphiques et ferroviaires, à la fois symboles et véhicules de la nouvelle industrie, marque les débuts d'une expansion fulgurante du champ de synchronisation horaire à l'échelle de la planète, diffusion parallèle à la formation de ce gigantesque « village global » sur lequel Marshall McLuhan a si bien su attirer l'attention.

4.1.2.6. La cadence globale

Le développement rapide du réseau global d'information dès la seconde moitié du 19^e siècle sensibilise rapidement les différents pays industrialisés au chaos planétaire de l'heure et à la nécessité d'y remédier.

Au milieu du 19^e siècle, (...) il existe encore dans chaque pays jusqu'à une centaine d'heures locales différentes. Ainsi les villages de deux pays situés sur un même méridien marquent la même heure, tandis que les horloges de deux villages du même pays dont les méridiens sont séparés d'un degré de longitude différent entre elles de quatre minutes. Cette différence devient sensible quand le télégraphe électrique permet d'unifier les horaires des grandes villes à la seconde près (Attali, 1982 : 233).

L'apparition et le développement du chemin de fer accroît considérablement le besoin de synchronisation horaire : pour que le transport ferroviaire soit possible, il est nécessaire « que les horaires soient coordonnés avec précision, et donc que l'heure donnée par toutes les gares d'un réseau soit la même » (Attali, 1982 : 236). Pour y parvenir, les compagnies de chemin de fer s'emploient à régler l'horloge des gares par télégraphe sur l'heure de la principale ville desservie par le réseau. Principale puissance économique et ferroviaire de l'époque, l'Angleterre est la première à se lancer dans cette aventure : « à l'initiative de Georges Bradshaw est édité en octobre 1839 le premier recueil des horaires des

chemins de fer anglais, et c'est l'occasion d'unifier les heures des gares sur tout le territoire du pays » (Attali, 1982 : 236). Sur le continent, le développement des premières lignes de chemin de fer transnationales conduit à la synchronisation horaire des gares de différents pays :

Dix ans après la première liaison Paris-Saint-Germain en 1837, la première ligne internationale, Paris-Bruxelles, est ouverte; en 1852, Paris-Strasbourg, en 1864 Madrid-Paris, en 1870 Rome-Paris, connectent les réseaux européens. Il faut alors coordonner les horaires entre les pays, donc coordonner les heures de méridiens différents et les horloges de différents réseaux (Attali, 1982 : 236).

Bien que contribuant à une vaste révolution des transports, cette vaste synchronisation horaire du réseau ferroviaire mondial complique toutefois rapidement le cadre horaire dans lequel évoluent les différentes nations industrialisées.

En France, comme dans la plupart des autres pays, chaque ligne de chemin de fer utilisait l'heure de la principale ville qu'elle desservait. (...) Les cadrans des stations et des salles d'attente indiquaient l'heure exacte de Paris, tandis que les pendules des quais retardaient de trois voire cinq minutes sur les autres pour donner aux voyageurs une marge d'erreur et éviter les contestations. C'est ainsi que les voyageurs qui attendaient dans les gares de province – à Brest ou Nice, par exemple – avaient trois heures différentes : l'heure locale de leur ville, l'heure de Paris (dans la salle d'attente) et une heure décalée sur les voies. (L'heure du train était en avance de 27 minutes sur celle de Brest, et en retard de 20 minutes sur celle de Nice) (Galison, 2005 : 87).

Pour corriger cette situation, le processus de synchronisation horaire s'étend peu à peu à l'ensemble de la société : en ajustant leur horloge à l'heure de l'observatoire national, quartiers, écoles, bâtiments publics, villes, régions et pays entiers s'efforcent d'uniformiser leur grille horaire.

À la fin des années 1870, à Paris et Vienne, des turbines à vapeur industrielles envoyaient de l'air comprimé dans des tuyaux souterrains ; on en modulait la pression afin d'assurer une synchronisation pneumatique des horloges dans toute la ville. (...) Dans un premier temps, le délai de quinze secondes que mettait l'air comprimé à s'acheminer sous les rues de Paris sembla négligeable. Puis, l'exigence de précision horaire s'imposa si bien qu'en 1881 ce bref retard (qui, en différents points du réseau pneumatique, décalait les horloges entre elles et par rapport à celle de l'Observatoire) devint manifeste (Galison, 2005 : 82).

La découverte de l'électricité et le développement des réseaux électriques encourage ce processus de synchronisation : nombre d'inventeurs entreprennent alors « de construire

des systèmes de distribution électrique reliant d'innombrables horloges éloignées les unes des autres à une seule horloge centrale » (Galison, 2005 : 25).

Cette internationalisation des réseaux ferroviaires et télégraphiques s'étend jusqu'aux colonies des puissances européennes par l'intermédiaire de l'entreprise cartographique : « dans la grande empoignade coloniale du milieu du 19^e siècle, la détermination de la position était indispensable aux conquêtes militaires, au commerce, et à la construction de voies ferrées » (Galison, 2005 : 119) ; parallèlement, « l'interconnexion internationale de très nombreux réseaux d'échange (...) exige une précision croissante de la date en deux endroits distants de plusieurs milliers de kilomètres » (Attali, 1982 : 297). Une telle entreprise, à l'instar de l'organisation et du fonctionnement du réseau ferroviaire, nécessite une détermination horaire d'une grande régularité et précision : « toute erreur d'une seconde de décalage horaire correspondait, à l'équateur, à une incertitude d'un demi-kilomètre d'est en ouest » (Galison, 2005 : 166).

En 1867, la pose du premier câble télégraphique transocéanique permet de synchroniser l'heure et d'établir l'écart longitudinal entre l'observatoire de Greenwich et l'observatoire de la marine à Washington. Dès 1880, les câbles télégraphiques anglais sillonnent tous les océans de la planète, permettant la synchronisation horaire à l'échelle du globe. Toutefois, plus qu'une simple affaire de câblage transocéanique et de synchronisation électrique, pareille entreprise de normalisation nécessite une réorganisation horaire totale du globe. La vaste entreprise de synchronisation horaire de la fin du 19^e siècle pousse ainsi « à la simplification des heures légales, à l'intérieur d'un pays et entre les pays, par la fixation d'une heure de référence et d'un méridien de base acceptable pour tous, sur terre comme sur mer » (Attali, 1982 : 237).

En 1875, un Congrès géographique international (...) propose de diviser le monde en 24 zones à partir d'un méridien de base, et, par 19 voix contre 4, il se prononce pour celui de Ferro. Mais, six ans plus tard, en 1881, à Venise, au Congrès géographique international suivant, on s'accorde à penser au contraire que le méridien de base ne peut être situé hors d'un pays politiquement stable et doté d'un observatoire de premier ordre. Seuls quatre méridiens peuvent alors être mis en concurrence : Paris, Washington, Berlin et Greenwich. Ce dernier, le plus utilisé depuis un siècle, sur mer et sur terre, est adopté officiellement dix ans plus tard (Attali, 1982 : 238).

Grâce à ce processus de réorganisation cartographique ainsi qu'au souci croissant de précision et de régularité horaire, la seconde acquiert une importance réelle dans le processus de synchronisation. Le Bureau International des Poids, chargé d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques, officialise cette nouvelle fonction sociale de la seconde lors de la convention du Mètre le 20 mai 1875 en la définissant comme la fraction $1/86400$ du jour solaire moyen.

Cet « extraordinaire changement d'échelle, en étendue comme en densité » (Galison, 2005 : 281) de la synchronisation marque profondément la culture de la fin du siècle et de la « Belle Époque ». La science n'est pas une exception à la règle : chez Poincaré, l'expérience de la synchronisation horaire devient la base d'une conception conventionnaliste de la temporalité :

En tant que figure dirigeante du Bureau des longitudes, Poincaré avait acquis une compréhension du temps inspirée par des procédures et des protocoles techniques : organisation, compte rendus, analyse des expéditions menées par ces savants-officiers qu'il admirait tant, là-bas dans leurs cabanes accrochées sur les sommets des Andes ou les plages du Sénégal. Le temps, selon, Poincaré, résidait dans *notre* monde, dans ce qui *nous* était le plus commode, dans *nos* échanges de signaux télégraphiques optiques ou électriques. Il n'existait pas de monde métaphysique derrière les apparences. Comme il l'écrivait dans « La mesure du temps », « nous (...) choisissons ces règles (de la simultanéité) non parce qu'elles sont vraies mais parce qu'elles sont les plus commodes » (Galison, 2005 : 275).

Fort de son poste de président du Bureau des longitudes, centre mondial de diffusion, de réception et de synchronisation horaires, motivé par sa croyance en une conception conventionnelle du temps, basée sur la synchronisation horaire télégraphique et la prise en compte du temps de transmission des messages, Poincaré joue un rôle décisif dans le développement d'une innovation technologique fondamentale pour le développement de la synchronisation horaire : la télégraphie sans fil.

Sommité du Bureau des longitudes, de la communauté scientifique et de l'élite intellectuelle française, Poincaré put défendre avec un poids certain l'idée de transformer la tour Eiffel en une station de transmission horaire par ondes radio. Ce fut essentiellement à son initiative qu'en mai 1908 le Bureau demanda qu'on établisse à partir de la tour un signal radio dont la réception permettrait de déterminer la longitude (Galison, 2005 : 247).

Grâce à ces tractations, « l'équipe de la transmission horaire de l'armée en poste à la tour Eiffel commença à émettre la simultanéité sur les ondes le 23 mai 1910 : ses tonalités caractéristiques pouvaient être captées du Canada au Sénégal » (Galison, 2005 : 251). Cette percée technologique révolutionnaire, tout en permettant à la métropole française d'imposer sa cadence sur l'ensemble de son territoire colonial en tenant compte des temps de transmission, confère également à la France un rôle de premier plan dans l'organisation horaire de la planète.

Un Bureau International de l'Heure est alors créé à Paris pour coordonner les résultats des divers observatoires, en déduire l'heure universelle et la conserver. Il a la garde de sept pendules, sept garde-temps qui assurent la permanence de la précision de l'heure. La guerre retarde son installation jusqu'en 1920 (Attali, 1982 : 241).

Ainsi, les nombreuses contraintes coloniales et cartographiques, conjointement aux développements télégraphiques et ferroviaires, permettent progressivement « aux autorités techniques et politiques de l'époque d'établir une simultanéité procédurale à distance sur toute la planète » (Galison, 2005 : 261), contribuant ainsi à étendre et parfaire le réseau global de synchronisation horaire.

Le train développait le télégraphe, le télégraphe dessinait la carte, la carte guidait la pose des rails. Tous trois (le train, le télégraphe et la carte) contribuaient à rendre toujours plus matérielle la question posée par la simultanéité à grande distance : quelle heure est-il ailleurs, en ce moment? (Galison, 2005 : 281).

Dans le cadre de cette vaste entreprise de synchronisation horaire, « être à l'heure, à la seconde près » devient l'une des principales priorités de l'ensemble de la population des pays industrialisés, le développement du réseau téléphonique ne fait qu'exacerber cette obsession.

Dès ses débuts, les abonnés prennent l'habitude, en s'adressant à la « demoiselle du téléphone », de lui demander l'heure. Elle ne peut d'abord donner que celle de l'horloge de son bureau. Puis, devant l'abondance des demandes, les centres téléphoniques de province règlent leurs horloges sur l'heure donnée par les opératrices de Londres ou de Paris. Quelques années plus tard, les centres de téléphone des grandes villes d'Europe sont dotés de pendules à chiffres sautants et peuvent ainsi donner l'heure à cinq secondes près (Attali, 1982 : 241).

Devant cette croissance démesurée de la demande horaire par téléphone, un centre interurbain, « Paris-Archives » est créé en 1928 : branché sur l'Observatoire de Paris, ce centre achemine l'heure aux différents centrales téléphoniques provinciales. De nouvelles opératrices téléphoniques sont embauchées dans le seul but de donner l'heure aux clients. La demande horaire par téléphone devient rapidement un service payant, ce qui ne diminue pourtant pas la demande. Pour répondre à ce nouveau besoin de synchronisation par téléphone est créé le premier automate utilisant la voix humaine : l'Horloge Parlante.

Le premier modèle est inventé en France par Ernest Esclaryon et proposé à l'Académie française des Sciences le 14 mars 1932. Il est construit par les établissements Brillié qui, depuis 1922, s'occupent de l'entretien, du remontage et de la remise à l'heure des appareils chronométriques des chemins de fer de la région de Paris. Sa précision est d'un centième de seconde. L'enregistrement utilise la voix d'un employé de Brillié. Son succès est immédiat (Attali, 1982 : 242).

À vrai dire, le processus planétaire de synchronisation horaire marque à ce point la culture de son époque qu'elle contribue à transformer radicalement la conception scientifique du monde. Albert Einstein se sert de l'exemple de la synchronisation horaire pour élaborer sa théorie restreinte de la relativité de 1905 : postulant, d'une part, que « « la lumière (...) se déplace toujours vers nous à la même vitesse mesurée – 300 000 kilomètres à la seconde –, *quelle que soit la vitesse de propagation de la source lumineuse* » (Galison, 2005 : 13) et définissant, d'autre part, le temps d'un événement comme « l'indication... de l'horloge immédiatement voisine de l'événement » (Einstein, 1967. *La relativité*. Lausanne et Paris : Payot : 33), Einstein en conclut qu'il ne saurait y avoir une notion cohérente de « temps » en soi, « mais seulement « des temps » multiples et variés dépendant du référentiel » (Galison, 2005 : 236), pour la simple raison qu'un événement ne peut se propager instantanément.

La vitesse de la lumière est de 300 000 kilomètres par seconde. Donc si B se trouve à 600 000 kilomètres de A quand B reçoit le signal lumineux, il règle son horloge à 12 heures et 2 secondes. Si B se trouvait à 900 000 kilomètres de A, B réglerait son horloge à midi et 3 secondes à la réception du signal (Galison, 2005 : 17).

Également, puisqu'il existe « une relation indissoluble entre le temps et la vitesse du signal » (Galison, 2005 : 229), Einstein nie l'existence d'une simultanéité et d'une instantanéité absolues.

D'une façon générale, ce qui nous est présent à un certain instant n'existe plus ou pas encore pour un observateur en déplacement par rapport à nous. Il devient donc impossible de définir un « instant présent » où se manifesteraient tous les phénomènes qui se produisent au même moment dans tout l'Univers. Le joli mot « maintenant » se trouve désormais dépourvu de signification dans l'absolu » (Klein, 2003 : 117).

Véritables révolutions scientifiques, les théories de Poincaré et d'Einstein constituent l'aboutissement théorique de plusieurs décennies de tentatives pratiques et technologiques visant à favoriser la coordination des horloges par la correction du temps de transmission. Dans le cadre de l'effervescence théorique et expérimentale suivant ce « virage relativiste », de nouveaux obstacles à la synchronisation horaire font surface.

Vers, 1938, on s'est aperçu que la rotation de la Terre, bien loin d'être uniformément constante, connaissait d'infimes variations; d'autre part, depuis le début de ce siècle, on s'est aperçu que la Terre tournait (...) en ralentissant (il y a 400 millions d'années, le jour avait une durée non pas de 24 heures, mais de 22 heures) (Chenet, 2000 : 30).

En somme, les processus d'urbanisation, de commercialisation et de mécanisation, en stimulant la synchronisation sociale, permettent de découvrir, plus de 500 ans après l'instauration des heures équinoxiales, que la rotation de la Terre n'est plus assez régulière pour répondre aux besoins de synchronisation des sociétés humaines. Face à ce constat, la définition originelle de la seconde adoptée lors de la convention du mètre de 1875 est modifiée pour devenir « la fraction $1/31556925,9747$ de l'année tropique pour le 1er janvier 1900 à 12 T.E » (Pomian, 1984 : 273). Pareille définition étant toutefois inutilisable sur le plan chronotechnologique, un nouveau continuum physique périodique est donc nécessaire à titre d'étalon de mesure mobile pour la poursuite de l'entreprise de synchronisation horaire.

Or, c'est par le biais de la découverte toute récente de la piézo-électricité que l'humanité va pouvoir poursuivre son entreprise de synchronisation horaire : en 1880, Pierre et Paul-Jacques Curie remarquent « qu'un cristal de quartz (...) placé dans un circuit électrique sous vide et à température constante, vibre 32758 fois par seconde, comme un pendule très rapide » (Attali, 1982 : 284-285). La chronotechnologie tire rapidement profit de cette découverte, remplaçant le chronométrage par oscillation pendulaire par l'utilisation d'une vibration cristalline entretenue électriquement : dans le tout premier oscillateur à

quartz, conçu en 1925 par les laboratoires de Bell aux U.S.A., « les vibrations d'un diapason de quartz excité électriquement sont comptées afin de signaler l'écoulement d'une seconde chaque fois que 32758 de ces vibrations ont lieu » (Attali, 1982 : 285). Dix ans plus tard, Armand de Gramont fabrique la première horloge à quartz, d'une fréquence de 2MHz.

Les premières horloges atomiques, basées sur les vibrations plus rapides des atomes du césium 133 et de l'ammonium NH, apparaissent au cours des années 1960. Leur impact est tel qu'elles sont à l'origine d'une nouvelle définition de la seconde, encore utilisée de nos jours : lors de la 13^e conférence générale des poids et mesures de 1967, le Système international d'Unités définit la seconde comme la durée de 9 192 163 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

Aujourd'hui encore, les horloges atomiques constituent la référence en matière de chronométrie : « une centaine d'horloges au césium disséminées sur la planète, participent périodiquement à une péréquation grâce au Bureau international de l'heure » (Bachelet, 1996 : 150).

Le « Temps atomique international » (TAI), qui intervient dans la définition du « Temps universel coordonné » (TUC), n'a plus rien à voir avec le ciel. C'est maintenant le même instrument qui joue le rôle d'instrument de définition et de « garde-temps » (Chenet, 2000 : 30).

Le développement des techniques piézo-électriques est également à l'origine de la progression fulgurante de la production et de l'utilisation des montres dans le paysage chronométrique mondial.

En 1959, (...) un électronicien suisse, Max Hetzel, met au point la première montre pourvue d'un oscillateur à quartz et d'un circuit intégré assurant les fonctions de comptage et d'affichage. La NASA s'en sert pour déclencher des séquences d'ordres sur les satellites artificiels, puis la Bulova Watch Company l'utilise pour mettre au point la première montre-bracelet à quartz et à comptage électronique, l'*Accutron* (Attali, 1982 : 289).

La première montre à quartz fabriquée en série est présentée au Colloque international de Chronométrie de Paris en septembre 1969. La popularité de cette « première prothèse de masse » (Attali, 1982 : 243) constitue un phénomène sans précédent dans

l'histoire : « jamais, dans l'histoire humaine, un objet n'a été produit en si grande quantité » (Attali, 1982 : 291). Progressivement, la montre à quartz est intégrée à diverses machines, notamment l'automobile, afin de voir à la coordination précise de toutes les fonctions mécaniques.

En 1960, Telstar effectue les premières expériences de synchronisation d'horloges par satellite; « des chronomètres plus précis et plus stables, fonctionnant d'abord à partir de cristaux de quartz et, ensuite, à partir du césium d'horloges atomiques spatiales, réglent ces émetteurs en orbite » (Galison, 2005 : 256). À l'instar des exemples du passé, cette nouvelle utilisation des horloges entraînent toutefois de nouveaux problèmes chronométriques : la synchronisation des horloges, à l'origine de la théorie de la relativité, se trouve de nouveau mêlée à celle-ci. Dans sa formulation générale de 1915, cette théorie affirme que les forces équivalentes d'accélération et de gravitation courbent l'espace-temps : plus la vitesse d'un corps s'approche de celle de la lumière, moins le temps passe vite. Cette théorie générale de la relativité, formulée dans le but de résoudre la contradiction entre la théorie de la relativité restreinte et la théorie newtonienne de la gravitation, s'avère rapidement essentielle à la coordination des satellites collaborant au fonctionnement du système GPS ainsi qu'à la synchronisation horaire.

Selon la relativité, les horloges des satellites en orbite autour de la Terre à la vitesse de 20 000 kilomètres par heure retardent (par rapport à l'heure terrestre) de 7 milliardièmes de seconde par jour. La somme des deux corrections donne une dérive de 38 milliardièmes (soit 38 000 milliardièmes) de seconde par jour, un chiffre ahurissant pour un système GPS dont la précision se doit d'être de 50 milliardièmes de seconde par jour. (...) Sans cette correction relativiste, le système GPS aurait dépassé sa marge d'erreur acceptable en moins de deux minutes. Au bout d'un seul jour, les satellites auraient fait pleuvoir sur Terre des positions erronées d'une petite dizaine de kilomètres. Voitures, bombes, avions et navires auraient quitté leurs trajectoires. La relativité – ou plutôt les relativités (restreinte et générale) – avait rendez-vous avec les instruments de l'invisible grillage recouvrant la planète. La théorie était devenue machine (Galison, 2005 : 257).

Cette mise au point de la synchronisation par satellite constitue l'un des tout derniers perfectionnements de la synchronisation horaire : au fil des siècles « on a utilisé le passage du soleil à travers les constellations, puis le passage des aiguilles d'une horloge par les symboles inscrits sur un cadran, avant de recourir à l'oscillateur à « microondes » d'une horloge atomique » (Elias, 1996 : 148). Tout en favorisant une régularité chronométrique de plus en

plus poussée, le développement de la technologie horaire a également permis à un nombre de plus en plus grand d'horloges de fonctionner selon une même cadence : en l'espace de quelques décennies, le réseau des horloges synchronisées « construction tout d'abord imaginaire, (...) s'était matérialisé en un entrelacs de câbles, qui, un siècle plus tard, se métamorphoserait en une résille de micro-ondes émises par satellite » (Galison, 2005 : 259). À la lumière de ces nombreux développements en matière d'oscillation et de synchronisation artificielles, la cadence horaire, partant d'une forme de détermination « ponctuelle et discontinue, liée aux situations », à une grille « continue, aux mailles de plus en plus fines, enserrant et conditionnant dans son universalité toute l'étendue des activités humaines » (Elias, 1996 : 119).

Les unités, toutes emboîtées les unes dans les autres, par lesquelles nous déterminons le temps – les minutes, les secondes et les années – peuvent être appliquées aussi bien à la cuisson d'un œuf à la coque, au trafic aérien mondial, aux fonctions vitales d'un organisme humain, au développement des sociétés à l'État, qu'à la naissance et à la disparition des étoiles et des galaxies ou encore à la naissance et à la disparition de l'univers tout entier (Elias, 1996 : 223).

Le développement de ce réseau horaire est intimement lié à la dynamique sociale, variant « avec la croissance et le déclin des unités politiques, avec la taille et le degré d'intégration de leur peuples comme de leurs territoires, et avec le degré correspondant de différenciation et d'étendue de leurs réseaux commerciaux et industriels » (Elias, 1996 : 68). Aujourd'hui, le réseau horaire est essentiel au maintien de l'ordre social : en effet, « toutes les relations humaines seraient gravement perturbées et, à la longue, ne pourraient guère se maintenir si l'on cessait de régler son propre comportement en fonction d'un horaire collectif » (Elias, 1996 : 176).

Si un jour toutes les horloges refusaient obéissance, c'est notre société entière qui s'écroulerait. Les transports ferroviaires et aériens s'arrêteraient en catastrophe car ils ne peuvent fonctionner qu'en respectant des horaires très stricts. L'industrie aurait peine à se maintenir en activité, fût-ce à cause des retards inévitables du personnel; cela serait carrément impossible à de grandes entreprises où diverses opérations doivent être minutieusement synchronisées pour aboutir au résultat final. D'ailleurs, les réseaux de distribution de l'énergie électrique tomberaient certainement en panne car, pour en assurer la marche, il faut procéder à des délestages aux moments de pointe, et débrancher certaines centrales en périodes creuses, choses infaisables avec la précision requise en l'absence d'horloges exactes et stables. Le système des communications se trouverait profondément désorganisé ainsi que les médias, incapables de suivre leurs programmes, les services, l'enseignement, l'armée, les

douanes, la police. Et ne parlons même pas de toutes les réunions retardées ou annulées, de tout le travail administratif perturbé, de tous les repas brûlés, les ménagères n'ayant pu se conformer aux recettes. Ces quelques exemples suffisent pour rappeler que notre société se reproduit quotidiennement par d'innombrables activités dont la coordination, souvent très fine, n'est possible que parce que divers pouvoirs publics imposent à tous un temps non seulement qualitatif mais aussi, sinon d'abord quantitatif, mesuré et affiché par les horloges (Pomian, 1984 : 226).

En somme, tant pour le réseau horaire que l'organisation calendaire, le besoin social de synchronisation a conduit les hommes « à remplacer les mouvements du soleil, de la lune et des autres astres – repères chronologiques et instruments de synchronisation relativement irréguliers – par un réseau toujours plus dense et régulier de « chronomètres artificiels » » (Elias, 1996 : 105).

Plus les enclaves humaines gagnent en extension et en autonomie relative – à la faveur de processus tels que l'urbanisation, la commercialisation et la mécanisation – , plus elles deviennent dépendantes, pour mesurer le temps, de dispositifs artificiels, et moins elles dépendent d'échelles naturelles de mesure du temps, telles que les mouvements de la lune, la succession des saisons ou le rythme de la marée haute et de la marée basse (Elias, 1996 : 52).

Parallèlement et grâce à cette synchronisation artificielle, « les espaces (...) où se synchronisent les actions des hommes s'avèrent de plus en plus grands : le clan, puis la ville, la nation et la planète entière » (Attali, 1982 : 257-258). Ainsi, par l'instauration et la synchronisation de ces cadences artificielles, représentant l'aboutissement de plusieurs siècles – voire même de plusieurs millénaires – d'observations portant sur les diverses périodicités physiques et de nombreuses tentatives visant à en modéliser le cours régulier, une pratique d'origine tribale a pu être étendue à l'ensemble de l'humanité.

Davantage qu'une simple percée technologique ou qu'un développement des réseaux sociaux, ce vaste processus de technocratisation de la cadence y est pour beaucoup dans la représentation moderne du temps : « le comportement et la sensibilité des individus se réglant à chaque étape avec plus de précision et de naturel sur le temps social institutionnalisé » (Elias, 1996 : 130), progrès technologique, apprentissage et socialisation contribuent ensemble à l'émergence d'une « conscience du temps » « dont la continuité fait pour ainsi dire le tour de l'horloge » (Elias, 1996 : 240). À la lumière de cette triple dynamique évolutive, force est de convenir que « ce qu'on appelle le « temps » n'est que l'élément

commun à cette diversité de processus spécifiques que les hommes cherchent à déterminer à l'aide d'horloges et de calendriers » (Elias, 1996 : 130). En ce sens, la sensibilité extrême des individus des sociétés industrialisées modernes à la dynamique ambiante, « n'est pas plus étonnante que la capacité des membres d'un groupe classique de chasseurs à se faire une idée précise de leur proie à partir de quelques empreintes sur le sol » (Elias, 1996 : 183). Parallèlement, force est de convenir avec Cassirer que chaque nouvelle invention technologique contribue non seulement à la construction du monde extérieur, mais également à celle du monde intérieur (Cassirer, 1972 : 253-254).

CONCLUSION

À la lumière des chapitres précédents, il semble maintenant clair que tout ce que l'univers offre aux êtres vivants et à l'homme en matière de temporalité s'inscrit dans le cadre d'une vaste et interminable dynamique d'oscillation et de synchronisation : le monde regorge d'oscillations de toutes sortes et la vie « persévère dans son être » en se synchronisant à la dynamique ambiante : « à tous les étages de l'univers, physique, biologique, social, personnel, des successions d'événements donnent prise à la synchronisation. C'est ce qu'on a en vue quand on déclare que le concept de temps peut s'appliquer à des séquences de n'importe quelle espèce, indépendamment de leur caractère spécifique » (Elias, 1996 : 91-92).

Ainsi, tout être humain, avant même de raconter, penser ou même de prendre conscience du temps, le vit d'abord en tant que produit de la synchronisation, participant à un gigantesque et quadruple mouvement autorégulateur vers la cadence, impliquant à la fois évolution, apprentissage, socialisation et technocratisation. L'évolution lui permet de maintenir la cadence avec le rythme photique quotidien et annuel de son environnement; l'apprentissage lui permet à son tour de maintenir une cadence sensori-motrice avec son environnement, que ce soit en reproduisant le rythme ambiant ou en imposant son propre rythme neuronal à ce qu'il perçoit; la socialisation lui permet de maintenir une cadence sensori-motrice avec ses pairs, processus d'efficacité énergétique et source d'agrément à la base de la constitution et de l'extension de nombreuses communautés; enfin, la technocratisation permet à l'homme de maintenir une cadence artificielle, soutenue par le développement et l'institutionnalisation progressives d'outils de synchronisation tels les calendriers et horloges, lesquels permettent une synchronisation plus efficace de l'individu à son environnement. Ces quatre processus et tout particulièrement le dernier contribuent à développer chez l'être humain une sensibilité particulièrement développée à la dynamique ambiante, sensibilité à la base du concept moderne de temps.

À la lumière de ce quadruple processus de cadencement, force est de conclure, à l'instar de Braudel, que la « ligne du temps » « fluctue, oscille au gré de mouvements périodiques, infiniment recommencés » (Braudel, 2000 : 56). Pareille dynamique, alliant redondance et nouveauté, répétition et progression, périodicité et linéarité fait de l'étude de la synchronisation et de la quête de la cadence une alternative intéressante au sempiternel débat opposant les conceptions circulaire et sagittale de la temporalité. Toutes premières conceptualisations du temps, les théories « circulaires » reposent sur cette antique croyance, partagée par l'ensemble des cultures polythéistes, selon laquelle « la réalité s'acquiert uniquement par répétition » (Eliade, 1969 : 48) : tout a déjà été fait au commencement par des Êtres surnaturels, dieux ou ancêtres, de sorte qu'« un objet ou un acte ne devient réel que dans la mesure où il imite ou répète un archétype » (Eliade, 1969 : 48). Ainsi, alors que le mythe décrit les hauts faits de la « cosmisation » (Eliade, 2003 : 35) de l'Univers par les Êtres surnaturels aux temps immémoriaux, le rituel consiste à maintenir l'ordre cosmique et conjure le retour au chaos primordial en réactualisant le temps des origines par la réitération des exploits originels.

Grâce à la répétition d'un geste paradigmatique, quelque chose se révèle comme fixe et durable dans le flux universel. Par la réitération périodique de ce qui a été fait *in illo tempore*, la certitude s'impose que quelque chose existe d'une manière absolue (Eliade, 2005 : 174-175).

Loin de remettre en question cet héritage « protophilosophique », les philosophes de l'Antiquité, s'interrogeant pour la première fois sur « le problème « théorique » de la structure réelle de l'univers (...) et du rôle qu'y joue le temps » (Gadamer, 1978 : 44), s'emploient au contraire à systématiser les croyances traditionnelles en matière de devenir et à leur conférer des bases spéculatives solides.

Qu'elles soient donc indiennes ou chaldéennes, grecques ou latines, presque toutes les philosophies païennes de l'Antiquité semblent s'accorder en une même doctrine : le Monde est éternel; mais comme il n'est point immuable, il reprend périodiquement le même état; le Ciel, formé de corps incorruptibles, repasse périodiquement par la même configuration; le Monde des choses corruptibles éprouve alternativement des déluges et des combustions qui scandent sa marche rythmée, qui signalent le retour périodique de choses de même espèce (Duhem, 1913, I : 295).

Aboutissement théorique de plusieurs millénaires de pratiques rituelles, de croyances mythologiques et de connaissances astronomiques, les conceptions antiques du temps s'avèrent toutefois incompatibles avec la culture judéo-chrétienne, basée sur une expérience religieuse théophanique : pour les Juifs, l'histoire est ponctuée de théophanies punitives, de fléaux infligés par Iahvé à son peuple en raison de son impiété; dans le cas du christianisme, cette histoire est « sanctifiée » par la naissance, la crucifixion et la réincarnation du Christ, « mort pour nos péchés qu'une fois, une fois pour toutes » (*Épître aux Hébreux*, 9; *Prima Petri* III, 18).

Dieu se manifeste dans le temps. Chacune de ses interventions y marque (...) un moment solennel et décisif de l'histoire (...) La puissante Main de Dieu – assimilée à son Verbe ou à sa Sagesse – ne cesse de guider le monde qu'elle a formé et l'homme qu'elle a pétri. De son côté, la créature ne peut connaître Dieu que dans ces manifestations temporelles : elle perçoit dans l'histoire l'accomplissement des desseins du Créateur, la réalisation successive d'un plan projeté par Dieu (Puech, 1978 : 226).

À la lumière de cette perspective judéo-chrétienne du devenir, « pour qu'un événement soit unique, singulier, le déroulement du temps ne doit pas pouvoir se répéter » (Klein, 2004 : 86) : pour un Chrétien tout particulièrement, adhérer à une conception cyclique du temps, c'est « admettre que le Fils de Dieu s'incarnera une infinité de fois, que Jésus-Christ aura, de nouveau à souffrir et à mourir (Duhem, 1913, II : 451). Afin de pouvoir justifier leur propre vision du monde, basée sur l'irréversibilité du devenir et l'unicité des événements historiques, la philosophie chrétienne s'est efforcée d'élaborer une conception « linéaire » ou sagittale du devenir; celle-ci, « tracée déjà au II^e siècle par Irénée de Lyon, sera reprise par saint Basile, saint Grégoire et finalement élaborée par saint Augustin » (Eliade, 1969 : 161). La stratégie particulière prônée par Augustin dans le onzième livre de ses *Confessions* est fort connue : l'évêque d'Hippone relate l'épisode biblique de la bataille de Gabaon (Josué X, 12), durant laquelle Dieu retarda le coucher du soleil afin de permettre aux enfants d'Israël de triompher des Amoréens, afin de rejeter toute association entre le temps et les cycles cosmiques, à la source des théories païennes du temps circulaire.

Pareille démarche a de quoi surprendre : « Par l'hypothèse d'une vitesse variable du soleil, Augustin s'éloigne de toute la tradition (...). Seul Augustin ose admettre qu'on puisse parler d'espace de temps – un jour, une heure – sans référence cosmologique » (Ricoeur,

1983 : 38). Or, la théorie augustinienne est moins farfelue qu'elle apparaît à première vue : la science moderne a permis de découvrir que la rotation de la terre ralentit au fil des millénaires, tandis que le développement technologique a entraîné la création d'une chronométrie atomique dénuée de tout fondement cosmologique. À vrai dire, le problème est qu'une telle conception, bien que permettant la nouveauté, rend toute connaissance et toute science impossibles. Les historiens modernes ont d'ailleurs été les premiers à s'en apercevoir.

Si toute répétition (...) est bannie, nous n'avons affaire qu'à des événements ou des phénomènes uniques, individualisés par leur position soit dans l'espace, s'ils sont simultanés, soit dans la suite temporelle. S'ensuit que l'histoire est incapable, pour des raisons de principe, de formuler des énoncés de caractère général, des lois (Pomian, 1984 : 72-73).

En somme, alors que les conceptions circulaires de la temporalité prônées par les civilisations païennes s'avèrent incapables d'expliquer la nouveauté telle que l'ont vécu les juifs et les chrétiens, la vision sagittale du temps prônée par la culture judéo-chrétienne est contraire au processus général d'acquisition de connaissances et d'investigation scientifique. Face à l'incomplétude de ces deux approches, une conception du devenir basée sur l'oscillation, la synchronisation et la quête de la cadence constitue une alternative intéressante, parvenant à concilier redondance et nouveauté, périodicité et progression. Ainsi, de la même manière que dans les poèmes homériques et hésiodiques, de nombreux phénomènes périodiques (migrations d'oiseaux, levers et couchers des constellations, croissance et chute des feuilles, etc.) servent à exprimer la fugacité de la vie, la philosophie actuelle du temps a grand intérêt à se pencher sur le processus par lequel la « linéarité » du devenir émerge de la dynamique cyclique à même l'Univers : de la même manière qu'une roue ne chemine qu'en tournant sur elle-même ou qu'une machine ne transforme la matière qu'en suivant un même cycle d'opérations élémentaires, l'humanité et la vie en général ne progressent sur la « ligne du temps » qu'au gré d'une véritable « quête de la cadence », idéal de régulation et d'efficacité énergétique, produit d'une incessante dynamique d'oscillation et de synchronisation.

Tout en permettant ce rapprochement de la réflexion et de l'expérimentation modernes avec la sagesse antique, l'étude de la synchronisation et de la cadence permet également de souligner la pertinence et la fertilité des approches transdisciplinaires et ainsi de

renouer quelque peu avec la portée universaliste de la toute première philosophie : à l'instar du vaste mouvement vers la cadence à l'œuvre dans les différents processus de développement évoqués ici, de nombreux phénomènes résident « à la fois *entre* les disciplines, *à travers* les différentes disciplines et *au-delà* de toute discipline » (Nicolescu, 2002 : 263). En ce sens, l'utilisation d'une méthodologie réflexive et expérimentale globale, libérée de toute réduction disciplinaire simplificatrice, bénéficierait non seulement au progrès de l'entreprise scientifique comme telle, mais également au développement et à la promotion de la philosophie, reine-mère de la culture scientifique occidentale ainsi qu'entreprise transdisciplinaire par excellence et définition.

BIBLIOGRAPHIE

- Adamson, Joy. 1961. *Living Free : the story of Elsa and her Cubs*. London: Collins & Harvill Press.
- Attali, 1982 : Jacques. 1982. *Histoires du temps*. Paris : Fayard.
- Augustin. 1964. *Confessions*. Traduction, préface et notes par Joseph Trabucco. Paris : Garnier Frères.
- Bachelet, Bernard. 1996. *Sur quelques figures du temps*. Coll. « Problèmes et controverses ». Paris : Vrin,.
- Bateson, Gregory. 1996. *Une unité sacrée : quelques pas de plus vers une écologie de l'esprit*. Paris : Seuil.
- _____ 1995. *Vers une écologie de l'esprit I*. Paris : Seuil, coll. « Essais ».
- _____ 1990. *La nature et la pensée : esprit et nature : une unité nécessaire*. Paris : Seuil.
- _____ 1977. *L'écologie de l'esprit II*. Paris: Seuil.
- Benzon, William. 2001. *Beethoven's Anvil : Music in Mind and Culture*. New York: Basic Books.
- Boissin, Jean et Canguilhem, Bernard. 1998. *Les rythmes du vivant : origines et contrôle des rythmes biologiques*; préface de Michel Jouvet. Paris : Éditions du CNRS, coll. « Fac. Sciences ».
- Buck, John. 1988. "Synchronous flashing of fireflies. II". *Quarterly Review of Biology* 63: 265-289.
- _____ 1938. "Synchronous flashing of fireflies". *Quarterly Review of Biology* 13: 301-314.
- Buck, John et Buck, Elisabeth. 1976. "Synchronous fireflies". *Scientific American* 234 (May): 74-85.

- _____ 1968. "Mechanism of rhythmic synchronous flashing of fireflies". *Science* 159: 1319-1327.
- Braudel, Fernand. 2000. *Le temps du monde*. T. 3 de *Civilisation matérielle, économie et capitalisme, XVe-XVIIIe siècle*. Paris : Armand Colin.
- Changeux, Jean-Pierre. 1983. *L'homme neuronal*. Collection « Pluriel sciences ». Paris : Hachette.
- Chenet, François. 2000. *Le temps : temps cosmique, temps vécu*. Paris : A. Colin, coll. U. Philosophie.
- Czeisler, Charles A. 1995. « The effect of light on the human circadian pacemaker ». *CIBA Foundation Symposia* 183 : 254-290.
- Darwin, Charles. 1981. *La descendance de l'homme et la sélection sexuelle*. Bruxelles : Complexe.
- Duhem, Pierre. 1913a. *La cosmologie hellénique*, T. 1 de *Le système du monde : histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*. Paris : A. Hermann
- _____ 1913b. *La cosmologie hellénique (suite)*, T. 2 de *Le système du monde : histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*. Paris : A. Hermann.
- Durkheim, Émile. 1960. *De la division du travail social*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Bibliothèque de philosophie contemporaine ».
- Éliade, Mircea. 2005. *Aspects du mythe*. Collection « Folio Essais ». Paris : Gallimard.
- _____ 2003. *Le sacré et le profane*. Collection « Folio Essais ». Paris : Gallimard.
- _____ 1969. *Le mythe de l'éternel retour; archétypes et répétition*. Collection « Folio Essais ». Paris-Gallimard.
- Elias, Norbert. 1997. *Qu'est-ce que la sociologie ?* Paris : Fayard, coll. « Agora ».
- _____ 1996. *Du temps*. Paris : Fayard, coll. « Agora ».
- Émery, Éric. 1998. *Temps et musique*. Lausanne : L'Âge d'Homme.
- Fraisse, Paul. 1979. « Des différents modes d'adaptation au temps ». In *Du temps biologique au temps psychologique; symposium de l'association de psychologie scientifique de langue française, Poitiers, 1977*. Collection « Psychologie d'aujourd'hui ». Paris : Presses Universitaires de France.

- _____ 1974. *Psychologie du rythme*. Paris : Presses Universitaires de France.
- _____ 1957. *Psychologie du temps*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Gadamer, Heinz Georg. 1978. « L'expérience intérieure du temps et l'échec de la réflexion dans la pensée occidentale ». In *Le temps et les philosophies; études préparées pour l'UNESCO*, sous la dir. de Paul Ricoeur, p. 38-53. Paris : Payot.
- Galison, Peter Louis. 2005. *L'empire du temps : Les horloges d'Einstein et les cartes de Poincaré*. Paris : Robert Laffont.
- Gleick, James. 1991. *La théorie du chaos*. Paris : Flammarion, coll. « Champs ».
- Goodall, Jane. 1967. *My Friends, the Wild Chimpanzees*. Washington, DC : National Geographic Society.
- Hakluyt, Richard. 1926. *A selection of the principal voyages, traffiques and discoveries of the English nation; set out with many embellishments and a preface by Lawrence Irving*. New York: A.A. Knopf.
- Halberg, Franz. 1979. « Les rythmes biologiques et leurs mécanismes : base du développement de la chronopsychologie et de la chronoéthologie ». In *Du temps biologique au temps psychologique; symposium de l'association de psychologie scientifique de langue française, Poitiers, 1977*, sous la dir. de Paul Fraisse, p. 21-72. Coll. « Psychologie aujourd'hui ». Paris : Presses Universitaires de France.
- Hall, Edward Twitchell. 1984. *La danse de la vie: temps culturel, temps vécu*. Paris : Éditions du Seuil.
- Huygens, Christian. 1893. *Correspondance de 1664 à 1665*. La Haye : Société Hollandaise des Sciences. Monographie disponible intégralement en format électronique sur le site « Origine des Rationalités à l'âge classique » : <http://www.age-classique.fr>.
- Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (I.N.S.E.R.M.). 2001. *Rythmes de l'enfant : de l'horloge biologique aux rythmes scolaires*. Site de l'INSERM : <http://ist.inserm.fr/basisrapports/rythmenf.html>.
- Kaempfer, Engelbert. 1906. *The history of Japan, together with a description of the kingdom of Siam, 1690-92*. Glasgow: J. MacLehose and sons.
- Klein, Étienne. 2003. *Les tactiques de Chronos*. Paris : Flammarion, coll. « Champs ».
- _____ 1998. *Le temps de la physique*. Centre international de recherches et études transdisciplinaires (CIRET) : <http://nicol.club.fr/ciret/bulletin/b12/b12c5.htm#n1>

- Koehler, Wolfgang. 1931. *L'intelligence des singes supérieurs*. Paris : Félix Alcan Éditeur.
- Laborit, Henri. 1989. *Dieu ne joue pas aux dés*. Paris : Grasset.
- Laborit, Henri. 1968. *Biologie et Structure*. Paris : Gallimard, coll. « Idées ».
- Laborit. 1952. *Réaction organique à l'agression et au choc*. Paris : Masson et Cie.
- Lecomte, Pierre et Lambert, Claire. 1990. *Chronopsychologie*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Lloyd, Geoffrey E.R.. 1975. "Le temps dans la pensée grecque". In *Les cultures et le temps; études préparées pour l'UNESCO*, sous la dir. de Paul Ricoeur. Paris: Payot.
- Lorenz, Konrad. 1997. *Les fondements de l'éthologie*. Paris : Flammarion, coll. « Champs ».
- Lovelock, James E. 1991. *La terre est un être vivant : l'hypothèse Gaïa* ; préface de Gérard Blanc. Paris : Flammarion, Coll. « Champs ».
- Macar, Françoise. 1980. *Le temps: perspectives physiques et physiologiques*. Bruxelles : Mardaga.
- McClintock, Martha K. 1971. « Menstrual synchrony and suppression ». *Nature* 229 : 244-245.
- McNeill, William Hardy. 2005. *L'art de marquer le temps : la danse et le drill dans l'histoire*. Rodez : Le Rouergue/Chambon.
- Mengal, Paul. « Le comportement ». In *Le comportement entre génétique et politique*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « L'aventure humaine », no. 11 : 41-51.
- Merleau-Ponty, Maurice. 2005. *La phénoménologie de la perception*. Collection « Tel ». Paris : Éditions Gallimard.
- _____ 2002. *La structure du comportement*. Collection « Quadrige ». Paris : Presses Universitaires de France.
- Michaels, Claire F., et Claudia Carello. 1981. *Direct Perception*. Collection « Century Psychology Series ». Englewood Cliffs (New Jersey) : Prentice-Hall.
- Michon, John A. 1979. "Le traitement de l'information temporelle". In *Du temps biologique au temps psychologique; symposium de l'association de psychologie scientifique de langue française, Poitiers, 1977*, sous la dir. de Paul Fraisse, p. 255-287. Collection « Psychologie d'aujourd'hui ». Paris : Presses Universitaires de France.

- Molina, Gérard. 1996. « Wallace, Alfred Russel ». *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution*. Paris : Presses Universitaires de France : 4565-4586.
- Moore-Ede, Martin C., Sulzman, Frank M. et Fuller, Charles A. 1982. *The Clocks That Time Us: Physiology of the Human Circadian Timing System*. Cambridge: Harvard University Press.
- Nadeau, Robert. 1999. « Évolution ». In *Vocabulaire technique et analytique de l'épistémologie*. Collection « Premier cycle ». Paris : Presses Universitaires de France : 228.
- Nicolescu, Basarab. 2002. *Nous, la particule et le monde*. Monaco : Éditions du Rocher.
- Nuttin, Joseph. 1979. "La perspective temporelle dans le comportement humain; étude théorique et revue de recherches". In *Du temps biologique au temps psychologique; symposium de l'association de psychologie scientifique de langue française, Poitiers, 1977*, sous la dir. de Paul Fraisse, p. 307-363. Collection « Psychologie d'aujourd'hui ». Paris : Presses Universitaires de France.
- Pagès, Max. *Le travail amoureux : éloge de l'incertitude*. Paris : Dunod, coll. « Organisation et sciences humaines ».
- Piaget, Jean. 1970. *L'épistémologie génétique*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Que sais-je? ».
- Pikovsky, Arkady, Rosenblum, Michael et Kurths, Jürgen. 2001. *Synchronization: a universal concept in nonlinear sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pomian, Krzysztof. 1984. *L'ordre du temps*. Collection « Bibliothèque des histoires ». Paris : Éditions Gallimard.
- Popov, Alexander N. 1952. *Études de psychophysiologie : conférences faites à l'institut de psychologie, à la clinique neuropédiatrique de la faculté et au centre psychiatrique de l'asile Ste-Anne, Paris* ; préface de Henri Piéron. Paris : Éditions du Cèdre.
- Pouthas, Viviane. 2003. « Temps : psychologie ». Dans *Vocabulaire des sciences cognitives*, sous la dir. d'Olivier d'Houdé, p. 431-433. Collection « Quadrige ». Paris : Presses Universitaires de France.
- Reinberg, Alain. 2001. *L'art et les secrets du temps : une approche biologique*. Monaco : Éditions du Rocher.
- Reinberg, Alain. 1998. *Le temps humain et les rythmes biologiques*. Monaco : Éditions du Rocher.

- Richelle, Marc, et Helga Lejeune. 1979. « L'animal et le temps ». In *Du temps biologique au temps psychologique; symposium de l'association de psychologie scientifique de langue française, Poitiers, 1977*, sous la dir. de Paul Fraise, p. 73-128. Collection « Psychologie d'aujourd'hui ». Paris : Presses Universitaires de France.
- Ricoeur, Paul. 1983. *L'intrigue et le récit historique*. T. I de *Temps et récit*. Collection « Essais ». Paris : Éditions du Seuil.
- _____. 1985. *Le temps raconté*. T. III de *Temps et récit*. Collection « Essais ». Paris : Éditions du Seuil.
- Robert, Ladislas. 2002. *Les temps de la vie*. Paris : Flammarion.
- Robert, Ladislas. 1989. *Les horloges biologiques: histoire naturelle du vieillissement, de la cellule à l'homme*. Paris: Flammarion, coll. « Champs ».
- Russell, Michael J., Switz, Genevieve M. et Thompson, K. 1980. "Olfactory influences on the human menstrual cycle". *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 13 : 737-738.
- Saint-Martin, Fernande. 1990. *La théorie de la gestalt et l'art visuel : essai sur les fondements de la sémiotique visuelle*. Sillery : Presses des Universités du Québec.
- Sauvanet, Pierre. 2000. *Le rythme et la raison*. Paris : Kimé.
- Smith, Barry. 1989. « Gestalt Theory : an Essay in Philosophy ». Dans *Foundations of Gestalt Theory*, sous la dir. de B. Smith, p. 11-81. Munich, Vienne: Philosophia Verlag.
- Souriau, Étienne *et al.* 2004. « Cadence ». *Dictionnaire d'esthétique*. Paris : Presses Universitaires de France, coll. « Quadrige » : 293.
- Stern, Kathleen et McClintock, Martha K. 1998. "Regulation of ovulation by human pheromones". *Nature* 392: 177-179.
- Streri, Arlette. 2005. « Comment l'homme perçoit-il le monde ? ». In *L'homme cognitif*, sous la dir. d'Annick Weil-Barais, p. 99-210. Collection « Quadrige ». Paris : Presses Universitaires de France.
- Strogatz, Steven. 2003. *Sync: the emerging science of spontaneous order*. New York: Theia.
- Tort, Patrick. 1996a. « Évolution ». *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution*. Paris : Presses Universitaires de France : 1424-1468.
- _____. 1996b. « Sélection naturelle ». *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution*.

Paris : Presses Universitaires de France : 3931-3940.

_____ 1996c. « Variation/variabilité dans l'œuvre de Darwin ». *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution*. Paris : Presses Universitaires de France : 4407-4417.

Varela, Francisco. 1993. *L'inscription corporelle de l'esprit : sciences cognitives et expérience humaine*. Paris : Seuil.

Varela, Francisco. 1989. *Autonomie et connaissance : essai sur le vivant*. Paris : Seuil.

Wiener, Norbert. 1962. *Cybernétique et société*. Paris: 10-18.

Wiener, Norbert. 1961. *Cybernetics; Control and communication in the animal and the machine*. Cambridge: MIT Press.

Williams, Leonard. 1980. *The Dancing Chimpanzee*. London: Allison & Busby.

Wittezaele, Jean-Jacques. 2006. « L'écologie de l'esprit selon Gregory Bateson ». *Multitudes* 24 : <http://multitudes.samizdat.net/IMG/pdf/24-wittezaele.pdf>.