

Une approche axiomatique de l'homéostasie

par

B. Rybak*

INTRODUCTION

Waller (1910) examinant les fluctuations des processus rythmiques idéaux qu'il représentait par une courbe régulière en forme de S (Fig. 1) ne pouvait s'empêcher d'écrire: En art c'est la "ligne de beauté". En science c'est "la ligne de réponse". En fait la condition d'idéalité des oscillations correspondant aux variations chronologiques d'une fonction est

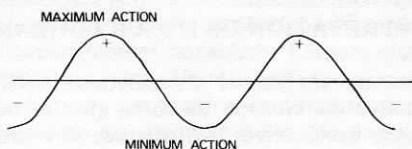


Fig. 1. Fluctuations des processus rythmiques idéaux.

rarement respectée. Quelles que soient les valeurs de l'abscisse des temps (éminemment variable selon l'espèce, l'âge, etc.) il convient de considérer que la régularité des cycles n'est approchée que dans l'état homéostatique quasi parfait, disons l'état de santé. D'ailleurs l'histoire naturelle d'un être — individuel ou collectif — vivant dépend étroitement du facteur temps, ce qui introduit une vectorialisation et dans cette orientation — asymétrisante — conduisant à des modifications physiologiques de l'ontogenèse et de la sénescence, même l'état de santé ne se situe pas à un égal niveau pour les différentes phases d'âge. J'ai indiqué ailleurs (Rybak, 1968) l'allure générale de la courbe de l'histoire naturelle d'un système biotique. Il reste que les processus de régulation biotique évoluent selon des modes sinusoïdaux mais dont l'amplitude, la pulsation, la période et la fréquence sont variables. Ceci correspond à l'existence de processus facilitateurs et inhibiteurs qui déterminent un état incrémental (affet) puis décrémental (effet) selon une partition qui doit tenir compte d'ailleurs du bruit de fond de puissance moyenne β , de la résonance et de l'amortissement. Dès lors plusieurs points sont à considérer.

DU RÉGIME DE FLUCTUATIONS

Soit f un point figuratif représentant une fonction biotique quelconque — à quelque niveau dimensionnel et d'organisation qu'on veuille la considérer. Ce point va décrire une suite d'excursions de part et d'autre d'un segment de droite moyen représentant l'état stationnaire, plus précisément l'état permanent non fluctuant d'équilibre dynamique. Les points extrêmes des oscillations déterminant un domaine de validité d (Rybak, 1969), le *normal* d'un état vivant se définit ainsi comme recouvrement de ce domaine; au-delà (+) et

*) Directeur du Service de Zoophysologie, Faculté des Sciences de Caen, Caen 14, France.

Manuscript received 17 August 1969.

Abstracting keywords: Homéostasie, rhythms.

en deçà (-) de ce domaine se définit l'anormal. Il convient à ce propos de considérer deux types d'anormalités: a) la fièvre par exemple représente un état exprimant généralement la défense de l'organisme homéotherme; c'est alors un état d'hyperactivité associé au pathologique (+) alors que l'hypotension sanguine représente un état d'hypoactivité globalement parlant et pouvant être associé, selon son degré et le biotype, à un état pathologique (-); b) cependant si on prend en considération les phénomènes de comportement, l'acte-exploit - record sportif, création géniale . . . - doit être compté en + et contribue à agrandir le domaine de validité de l'humain tandis que les crimes contribuent au contraire à restreindre ce domaine de l'humain (*Homo sapiens*) puisqu'ils sont contraintes introduisant le pré-sapiens. La Figure 2 donne le type schématique d'un oscillogramme biotique.

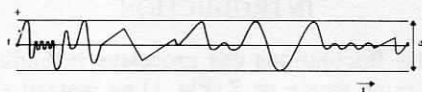


Fig. 2. Oscillogramme biotique.

INTERPRÉTATION DE L'OSCILLOGRAMME

Un système vivant est donc un générateur d'oscillations mais c'est un oscillateur sujet lui-même aux actions oscillantes du biotope de sorte que les oscillations sont l'expression d'une combinaison de régimes oscillatoires intrinsèques et extrinsèques produisant notamment des périodicités multiples en coordonnées temps-élongation. La détermination du domaine de validité pose le problème du degré de liberté qu'autorise et détermine chaque structure-fonction. Tout dépend déjà de l'allocation optimale des ressources (débits vers l'interne) et des capacités d'épuration (débits vers l'externe). L'oscillogramme exprime une chaîne où le point f représente un signal ζ , celui-ci pouvant être nerveux, hormonal et/ou métabolique. Remarquons que la détermination d'un signal, même continu, procède selon un nombre fini de données; si on note 1 la largeur de bande du canal de transmission pour un signal ζ de durée θ , l'information entachée de bruit β est selon Shannon (1948):

$$I = 1 \theta \log \left(1 + \frac{\zeta}{\beta} \right)$$

Un oscillogramme wallerien - pour prendre un cas simple mais relativement rare - exprime une intégration synchronisante d'un nombre généralement élevé de canaux avec son mouvement convergent positif, son inversion et son mouvement convergent négatif monotone. Plus l'élongation est grande, plus grande est la capacité homéostatique ($d \nearrow$). Or au sens informationnel une onde sinusoïdale régulière transporte peu d'information puisqu'elle se répète constamment; on est conduit ainsi à constater qu'un état oscillographique wallerien possède une faible capacité historique dont on saisit la signification comportementielle et morale et que je développerai ailleurs pour l'Homme. L'oscillogramme de la Figure 2 exprime le cas général avec ses phases d'excitation, de répression, ses états dissipatifs et concentratifs, etc.

Cherchant ici à dégager les concepts et certains aspects de la formalisation des processus périodiques biotiques il convient en première approximation de distinguer les périodicités strictement associées à des équilibres dynamiques - les régulations ou homéostasies - et les périodicités exprimant la répétition de processus inducteurs et/ou enveloppes - tels l'EKG - quoique ces derniers soient liés aux premiers. Pour nous en tenir à l'homéostasie les points suivants sont à relever:

- (1) Un écosystème biotique différencié représente un oscillateur *forcé* - quoiqu'il admette des oscillations libres -, oscillateur aux périodicités fonctionnelles intégrées par rétroactions positives et négatives - *boucles fermées* -; c'est une fonction variable du

seuil d'action, du temps (dont la morphologie du décours formel) et de l'amplitude de chaque processus constituant du système, formant ainsi un ensemble de systèmes à contrôles automatiques autonomes et, dans la totalité organique, hétéronomes. Les facteurs héréditaires qui déterminent fondamentalement le faciès spécifique d'un biosystème viable correspondant à une programmation génique définie représente un dispositif de contrôle à *boucle ouverte* (au sens de Melsa et Schultz, 1969); en fait l' "entrée" génique est constamment contrôlée par la "sortie" écologique interne et externe, cependant on peut admettre que pour un environnement idéal stationnaire l'expression morpho-physiologique d'un génome sera toujours équivalente et représentera au plus près le développement d'un "pur" système génique. Il ressort de cet examen de principe que dans un biosystème à boucle ouverte — idéal —, le contrôle des transits s'effectue selon des échantillonnages discrets tandis que dans un biosystème à boucle fermée le contrôle est "permanent" de sorte que dans un cas le système procède essentiellement selon des unités quantiques — que l'on imagera par exemple par les entiers ordinaux 1, 2, 3, 4, ... — tandis que, dans l'autre cas, le système procède selon une suite continue (Verriest, 1962) — dans laquelle 1 par exemple n'est atteint que comme asymptote d'un nombre à x 9 décimaux. Les notions de permanence et d'intermittence sont, à la limite, critiquables;

- (2) Toute tentative de formalisation du générateur-récepteur d'oscillations qu'est un système vivant doit nécessairement considérer l'aspect statistique — donc aléatoire — des processus (distribution ergodique boltzmannienne, processus markoviens, stochastiques avec corrélations par récurrence notamment ...); toutefois le traitement statistique n'est pas le même par exemple pour une population de spermatozoïdes et pour une population neuronique définies: la première relève plus facilement d'une analyse proche de la théorie cinétique des gaz, la seconde plus facilement de la théorie des réseaux de communication;
- (3) Toutes les fonctions de régulation — de stabilisation — biotiques ne sont pas de la forme sinusoïdale $y = a \sin x$, avec ou sans ωt et φ , et pour un régime oscillatoire aux elongations variables, il convient de toute façon — tant pour l'analyse de l'occurrence passée ("off line") ou instantanée ("on line") que pour la prédiction (probabilité du futur) — de chercher le corps d'approximations adéquat. Le cas le plus remarquable est sans doute celui offert par les oscillations de relaxation (vase de Tantale, etc.) dont le caractère dit auto-entretenu correspond à la fourniture continue d'énergie (Blaquière, 1966; Le Corbeiller, 1931 et 1934).
- (4) L'adaptation du vivant à ses milieux intérieur et extérieur correspond à la mise en jeu de circuits réflexes et le "balance control" dépendra, quant à son impression de continu (DC), de la constante de temps, du temps de relaxation du transducteur ou de la chaîne de transducteurs considérée; elle dépendra aussi du mixage terminal des cellules en corrélation. De toute façon ce n'est pas selon une logique à deux valeurs seulement (Clynes, 1969) que s'effectue l'organisation cybernétique mais selon une logique à trois valeurs; autrement dit l'algèbre de Boole à deux états 0 et 1 (modulo $x^2 = x$) est insuffisante; pour rendre compte non seulement des états terminaux mais encore de l'état de transition (—1) correspondant à l'indéterminé, c'est à la logique modulo $x^3 = x$ de Lukasiewicz (1963) — cas particulier d'ailleurs de la logique à n valeurs de Post (1921) — que l'on doit en venir, son importance en Biologie étant d'aboutir à des fonctions canoniques à trois variables 1, 0, —1 définissant une logique à seuil. Par ailleurs dans le calcul de prévisions des canaux alternants d'occurrence il convient d'utiliser la méthode d'adjonction dans laquelle, comme on sait, est considéré un ensemble d'éléments abstraits et où on fait correspondre un élément χ_0 de cet ensemble au résultat premier — ra — (χ_0 = élément initial); après quoi l'élément abstrait est transformé en élément de prévision à l'instant t , χ (la probabilité de l'événement découle de cet élément χ par une certaine fonction F indépendante du temps) et, pour une probabilité petite ϵ , la probabilité pour que le résultat second ($r\beta$) appartienne, à l'instant t , à la sous-famille $\mathcal{E}$ est une fonction qui s'écrit:

$$r_3 \approx \varepsilon$$

$$\text{prob. } (r_3^{ee}) = F(\varepsilon, \chi).$$

L'évolution du système est alors exprimée par le point figuratif f qui, dans la représentation de Shannon (qui se déduit de la mécanique classique — ce qui paraît encore insuffisant en Biologie —) est toujours un espace à nombre pair de dimensions ("espace de configuration" ou "extension en phase"). Le point figuratif à l'instant t constitue l'élément de prévision χ_t qui se nomme le transformé de χ_0 à l'instant t . L'écriture symbolique:

$$\chi(t) = U(t, t_0) \chi_0$$

fait intervenir U dit opérateur d'évolution déterminé par une équation différentielle $\frac{dU}{dt} = \mathcal{H} U$ (équation d'évolution dans laquelle $\mathcal{H}$ est un autre opérateur *).

- (5) Waller notait que la courbe harmonique (Fig. 1) ressemblait au mouvement d'un pendule et sa classification en "lent-rapide, repos-actif" indique déjà une logique à $n > 2$. Mais surtout un système pendulaire représente un dispositif de pulsation *non-linéaire*. Cette non-linéarité introduit immédiatement une difficulté majeure pour l'axiomatisation des processus homéostatiques; il s'agit beaucoup plus en effet de mathématiser l'empirique à partir d'hypothèses simplificatrices que d'aller à un traitement exhaustif puisque c'est seulement dans certains cas et moyennant plusieurs approximations que la linéarisation des équations différentielles régissant un système non-linéaire est possible; dans la plupart des cas on en est réduit plutôt à une description qualitative, ou semi-qualitative, du comportement global d'un tel système qu'à un corps d'équations univoque et universel.

BIBLIOGRAPHIE

- BLAQUIÈRE, A. (1966): Analyse des systèmes non linéaires. Presses universitaires de France (éd.), Paris, 440 pp.
- CLYNES, M. (1969): Cybernetic implications of rein control in perceptual and conceptual organization. Ann. N.Y. Acad. Sci., 156, 2: 629-670.
- LE CORBEILLER, Ph. (1931): Les systèmes autoentretenus. Conférences d'actualités scientifiques et industrielles XXVII, Hermann (éd.) Paris, 46 pp.
- LE CORBEILLER, Ph. (1934): Electro-acoustique. E. Chiron (éd.) Paris, 87 pp.
- LUKASIEWICZ, J. (1963): Elements of Mathematical Logic. Pergamon Press., Oxford.
- MELSA, J. L. et SCHULTZ, D. G. (1969): Linear control systems. McGraw-Hill., New York, 621 pp.
- POST, E. L. (1921): Introduction to a general theory of elementary propositions. Amer. J. Math., 43: 163-185.
- RYBAK, B. (1968): Psyché, soma, germen. Gallimard éd., Paris, 437 pp.
- RYBAK, B. (1969): La méga-évolution. Conférences du Palais de la Découverte, Paris, A.349, 30 pp.
- SHANNON, C. E. (1948): A mathematical theory of communication. BSTJ, 27: 379-423 et 623-656.
- WALLER, A. D. (1910): Physiology, the servant of medicine. Univ. of London Press Publ., London, 143 pp.

*) Notons que l'hamiltonien est l'opérateur $\frac{ih}{2\pi} \mathcal{H}$.

ABSTRACT

Living systems are sustained, even forced, oscillators maintained by input-output and transit variables in duration and elongation. Waller's curve of sines — and ideal rhythmic function of living processes — defines in anyway a non-linear system, a point which makes the axiomatic analysis non-universal and limits our attempt to give a general algorithmic formalization of homeostasy.