

colloque international sur les capteurs bio-médicaux

**international conference
on biomedical transducers**

paris 3 au 7 nov.

biocapt 75

C 1.1 Lecture continue des fonctions vivantes par transducteurs naturels et expérimentaux
Continuous readout of living functions through natural and experimental transducers

B. RYBAK
Université de Caen
Zoophysologie
14032 Caen Cedex
France

Résumé

Les codes vivants sont fondamentalement au nombre de quatre (Rybak, 1965): le génétique, le métabolique, l'hormonal et celui relevant des structures excitables, nerveuses en particulier (1). La formalisation se fait dans le présent exposé selon une approche sémiotique où les éléments constitutifs d'un code sont considérés comme autant de descripteurs ordonnés en étendue et intensité. Sur cette base, bionique, la méthodologie générale qui en découle amène à proposer des dénominations commodes permettant de distinguer aussitôt capteurs naturels (biocepts) et capteurs artificiels ("biocapts") en faisant remarquer que, pour une échelle suffisamment fine et rigoureuse, tout continuum est en fait un contiguum - précisément, le rendement du digital est supérieur à celui de l'analogique pour les programmes complexes et de volume important comme il en va pour les bio-ordinateurs. De toute façon, la théorie des représentations exige de considérer l'espace physique \mathbb{R}^n comme quasi entièrement indénombrable, ce qui formalise le caractère approché des métriques usuelles.

(1) Rybak B. : a) Logique des systèmes vivants, Encyclopaedia universalis (1973), vol. XV, 687 ; b) Technobiologie, id., 812 ; c) Biologie de l'oxygène; Maloine, Paris (1974), 195 pp.

Summary

Four codes are fundamental in living systems: the genetic, the metabolic, the hormonal and the one which belongs to excitable structures (for example: the nervous system). The presentation deals with the formalization of the code according to a semiotic approach where the constitutive elements are considered as extensive and intensive ordered describers. The general methodology which proceeds along the line developed here permits to suggest handy words allowing at once to distinguish natural ceptors (biocepts) and artificial sensors ("biocapts"), underlying that, for the finest and most rigorous scale, any continuum is in fact a contiguum - precisely the digital yield is greater than the analogue one for complex and big programmes as it is the case with biocomputers. Anyhow the theory of representations requires to consider the physical space \mathbb{R}^n as quasi-entirely unnumerable, fact which formalizes the approximative character of usual metrics.

On distingue bionique directe (le détecteur est un bios ou une de ses parties), "épicritique" au sens de Head, et indirecte (inspirée du vivant), comparativement "protopathique" également au sens de Head et, ce, notamment pour la captation des informations de sorte que, des instruments naturels aux artificiels, nous "copions" de loin. Toute transduction est conversion d'information impliquant une fonction de transfert souvent non-linéaire engendrée par des opérateurs que je nomme joncteurs (cas des synapses: les cepteurs rétiniens sont autant d'hémi-synapses). Par souci de concision et de symétrie étymologique, je propose de nommer biocepts les récepteurs (ou, mieux, cepteurs) naturels et j'approuve la dénomination "biocaps" pour les transducteurs artificiels. Les 4 codes biotiques fondamentaux [3 moléculaires: le génétique intrinsèque + 2 phénotypiques - 1 enzymatique et 1 hormonal - et le nerveux centripète (affects et percepts) et centrifuge (effects); Rybak, 1965-1973] paraissent relever de la computation analogique mais en fait ils n'en procèdent que rarement et c'est sur ce point que nous devons nous interroger.

1) Considérons la technique de thoracotomie gauche (Rybak, 1964) chez des animaux comme le Lapin présentant un médiastin complet, technique qui permet d'expérimenter sur le coeur in situ de Mammifère sans assistance ventilatoire ni circulatoire, la préparation pouvant ainsi manifester sans contrainte la quasi-totalité de ses réflexes. A l'aide du fluoromètre-réflextomètre de Chance, Legallais & Schoener (1963), il a été possible (Rybak, Chance, Paddle & Kaplan, 1967-1970) de détecter en continu simultanément et localement (ventricule gauche, ventricule droit, reins, foie) a) la variation réflexe de saturation en oxygène de l'hémoglobine et, pour le coeur, de l'ensemble hémoglobine-myoglobine; b) la variation réflexe d'état d'oxydo-réduction au niveau moléculaire respiratoire du stade $\text{NAD}^+ / (\text{NADH} + \text{H}^+)$ dont le changement d'énergie potentielle des particules redox de la chaîne respiratoire par rapport à $1/2 \text{O}_2$ à 760 torr est $\approx 1,1$ eV soit $\approx 1,76 (2277) \pm 0,00007 \cdot 10^{-12}$ erg; ainsi a pu être montré pour la première fois le retentissement, à un niveau intracellulaire défini d'organes en place de Mammifère,

d'un réflexe global intégré pulmo-cardio-circulatoire macroscopique provoqué par inhalation transitoire de CO_2 par voie nasale ou par injection i.v. de faibles doses d'adrénaline et détecté par capteurs à P_{O_2} cathétérisés simultanément en milieu référentiel artériel et en un point du circuit veineux aussi bien qu'en épi-tissulaire par apposition du capteur à P_{O_2} (Rybak, 1964-1967). Or l'appareil est conçu de telle façon que l'on envoie successivement 3 longueurs d'ondes λ_1 à 543 nm, λ_2 à 615 nm -permettant de mesurer le spectre instantané des pigments héminiques cités par la différence des densités optiques dans les bandes correspondantes- et λ_3 à 365 nm qui provoque l'émission de fluorescence à 450 nm du coenzyme I réduit (Warburg), ces trois longueurs d'ondes étant reçues sur le même photomultiplicateur associé à un dispositif permettant de séparer, sans interférence sur enregistreurs, ce qui correspond à l'état des hèmes et à celui du Co I (cas du réflexe décrit); si l'impression de continu est obtenue sur les enregistrements quoique $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ soient successifs et quoique le transfert des électrons respiratoires soit discret, c'est que la vitesse photonique comme électronique est grande par rapport à la constante de temps de la chaîne constituant le système du biocapt utilisé.

2) Quand on descend dans l'échelle dimensionnelle du biotique, les processus se discrétisent [cas du système matriciel quasi congruent $\text{ADN}/\overline{\text{ARN}}_m$, des décharges quantales synaptiques, des potentiels d'action unitaires intraneuroniques (ex. relations stimulus-excitation nerveuse-intégration corticale pour l'audition: Echlin & Fessard, et pour la vision: Jung, Creutzfeldt & Grüsser). Cependant des bioceptions [ERG, translation d'animaux aquatiques et mouvements des ouïes de Poissons (Rybak, 1957), potentiel microphonique lié aux vibrations sonores] apparaissent plus analogiques que digitales comme des bio-effets -donc en direction centrifuge, motrice- le paraissent (cas du EKG: en "détection unitaire" -transmembranaire-, d'un côté dans la zone "pacemaker" le signal est de type continu, d'un autre côté la discrétisation -qui correspond à un signal pulsé, discontinu, impliquant donc temporisation-spatialisation (espacement) i.e. des solutions de continuité avec retour à l'iso-potentiel- est, par les décours temporels complexes, à plateau plus ou moins prononcé, auriculaire et ventriculaire, différente d'une suite de signaux tout-ou-rien intraneuroniques, c'est-à-dire selon un descripteur ordonné en (1,0). Par ailleurs généralement une détection globale (EEG, ECG...) "lisse", forme une enveloppe résultante des unités discrètes concaténées en fréquence (composante d'extensité) et amplitude (composante d'intensité). Il faut aussi considérer que les biocapts spécifiques [P_{O_2} , pH, PCO_2 ainsi que les ultramicrophotomètres originaux (Rybak, 1968),

les capteurs bio-mécaniques topologiques (Rybak, 1972)...] travaillent généralement en analogique; toutefois on peut imposer (notamment pour la PO_2 et l'ultramicrophotométrie) une saisie des données de façon pulsée par signaux impulsions (comme un détecteur de particules radiantes) ou par signaux codés (échantillonnage exploratoire "chiffré"). Mais de plus:

1°) Dans une sémiotique généralisée à des fins bioniques, il faut tenir compte: a) de la loi de Weber et Fechner (l'intensité de la sensation varie comme le logarithme de l'intensité du stimulus) - qui représente un cas particulier pour les bio-captés mais le cas général pour les bio-cépts-, b) des seuils et itérations et par ailleurs de ce que, à la transitoire d'un signal en impulsion, la réponse d'un réseau linéaire résulte de l'application de la classique transformée de Laplace $g(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} h(t) dt$, si la fonction $h(t) = 0$ pour $t < 0$ et qu'elle est d'ordre exponentiel; i.e. pour $t \rightarrow \infty$, il existe une constante réelle ρ telle que $t \rightarrow \infty: \lim e^{-\rho t} h(t) =$ constante finie. Précisément dans notre quête de la similitude, notée fondamentalement par N. Wiener, entre les lois cybernétiques des ordinateurs et des bio-ordinateurs, nous ne devons pas perdre de vue que les systèmes et biosystèmes optimaux sont classés en systèmes: 1) continus (à valeurs variables, niveaux et instant quelconques: non quantifiés en temps et en amplitude), 2) continus à états discrets (commande impulsionnelle ou numérique, modulation d'impulsions: les niveaux des valeurs sont quelconques à des moments discrets: quantifiés en temps mais non en amplitude - l'opérateur est alors obtenu par le calcul aux différences finies qui lie les valeurs des conséquents aux valeurs des antécédents), et 3) discrets (quantifiés en temps et amplitude dans le cadre d'un réseau de niveaux non-interdits). Remarquons que pour traiter l'information pulsée, si notamment la longueur d'impulsion est petite par rapport à la période de répétition, on considère classiquement une seule impulsion et l'on applique l'intégrale de Fourier dans l'intervalle où $f(t)$ est défini et où la fonction ou distribution de la fréquence = $F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$ (inversement $f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega$ = une fonction du temps associée à une fonction de la fréquence). Ceci si le bruit de fond n'est pas trop grand; autrement il faut, quand c'est possible, moyenner une enveloppe (à cet égard les bio-cépts doivent être associés à des filtres à la fois relais: ce sont les synapses; une telle simulation par filtres et amplificateurs peut être aisément réalisée en bionique).

2°) Il faut souligner que les bio-ordinateurs sont plutôt digitaux et l'on peut avancer que ceci résulte d'une sélection évolutive puisque le rendement coût/volume et complexité des programmes à traiter est mieux

en "digital" pour les programmes importants. Précisément les "logiscopes" (oscilloscopes à logique binaire) vont dans ce sens discriminatif incluant la faculté d'analyse d'un signal (en série ou parallèle) en fonction de sa position contextuelle.

3°) Nous en venons enfin au point essentiel puisque la pratique de la captation des informations ne va pas sans la théorie des représentations, c'est-à-dire la métrique et la théorie des référentiels. On sait déjà dans la pratique que les signaux d'information ont toujours une double nature continue et discontinue et que l'on cherche à ramener la représentation de l'une ou de l'autre de ces formes idéalisées à celle qui est la plus com- mode pour la détermination du système (cf. par ex. Russel, 1964). Si les idéalizations mathématiques permettent, par approximations, choix, passages aux limites, de traiter des problèmes qui seraient autrement très difficiles à atteindre, il n'en reste pas moins qu'elles comportent des risques graves, de sorte qu'en toute rigueur on doit désormais s'efforcer de les éliminer. C'est Kronecker qui disait: "Les nombres entiers ont été faits par le Bon Dieu, tous les autres sont de fabrication humaine". Etrange bionique: tout indique l'inverse. En effet: l'espace numérique \mathbb{R}^n est en fait une succession de valeurs dans \mathbb{X}_0^n (le dénombrable = les algébriques) et \mathbb{X}_1^n (l'indénombrable, les transcendants ou irrationnels non algébriques qui constituent la quasi-totalité des réels). Or la droite numérique est classiquement définie comme l'ensemble totalement ordonné \mathbb{R} , muni de la topologie de l'ordre, et l'espace numérique, avec $n =$ un entier naturel non nul, est le produit cartésien de n espaces topologiques égaux à la droite numérique et muni de la topologie produit. Une des idéalizations est de considérer l'espace comme galiléen, quoiqu'on sache qu'il ne l'est pas en microphysique, en cosmologie, et, d'évidence, en biologie. Si l'espace physique était galiléen, c'est-à-dire statistiquement homogène et isotrope, l'entropie y serait maximum d'emblée, ce qui n'est pas. Pour s'approcher au plus près du concret des représentations, il faut chercher à formuler l'espace des événements selon la totalité des réels. Soit alors un trièdre trirectangle d'origine $(0,0,0)$ et à segments de droite orientés (axes de coordonnées) $0x_1 = 0x_2 = 0x_3 = 1$. La procédure générative des ordinaux et des cardinaux cantoriciens est, en incorporant les entiers naturels (nombres de la première classe) :

$1 \ 2 \ 3 \dots \omega \ \omega+1$
 $\dots \omega+n \dots \omega \cdot 2 \ \omega \cdot 2+1 \dots \omega \cdot 2+n \dots \omega \cdot 3 \dots \omega \cdot n \dots \omega \cdot \omega (= \omega^2) \ \omega^2+1 \dots \omega$
 $\omega^2+n \dots \omega^2+\omega \dots \omega^2+\omega+1 \dots \omega^2+\omega+n \dots \omega^2+\omega \cdot 2 \dots \omega^2+\omega \cdot n \dots \omega^2 \cdot 2$
 $\omega^2 \cdot 3 \dots \omega^2 \cdot n \dots \omega^2 \cdot \omega (= \omega^3) \ \omega^3+1 \ \omega^3+2 \dots \omega^n \dots \omega^\omega \dots \omega$
 $\omega^{\omega+1} \dots \omega^{\omega \cdot 2} \dots \omega^{\omega \cdot n} \dots \omega^{\omega \cdot \omega} \dots$

formant (à partir de ω , le premier nombre entier transfini usuel de puissance \aleph_1) l'ensemble bien ordonné des nombres ordinaux de la 2e classe. Considérer comme homogène le "continu" \mathbb{C} -comme pouvait encore le faire E. Borel en 1952- ne répond pas à l'analyse de P.J.Cohen(1966) démontrant que $\mathbb{C} > \aleph_n, \aleph_\omega, \aleph_\alpha$ où $\alpha = \aleph_\omega$. Un point pris dans l'espace pointé ou ponctuel ainsi référencé de \mathbb{R}^3 est susceptible, par projections orthogonales tri-viales, de prendre toutes les valeurs dans $\aleph_0 \times_1, \aleph_0 \times_2, \aleph_0 \times_3; \aleph_0 \times_1, \aleph_0 \times_2, \aleph_1 \times_3 \dots \aleph_1 \times_1, \aleph_1 \times_2, \aleph_1 \times_3$. C'est dire qu'il s'agit en l'occurrence de plus que de l'espace discret ("ensemble de particules") de Linfield(1925) "plus rapproché que l'espace euclidien de la conception physique de l'espace..." (Fréchet, 1951); il s'agit de l'espace des événements, délicat à manier, de tous les réels, d'usage quotidien avec notamment $1/n, 1/e, \sin 1$, nombres de Liouville $x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{4^n}{10^{n!}}$, etc., discrets et quasi entièrement inaccessibles au sens de Borel(1952) à moins d'en "arrondir" les valeurs ou de "se contenter" de valeurs numériques à décimales "négligeables", ce qui constitue un abus de notation et surtout de conceptualisation. A cet espace s'applique la remarque d'Arnaud Denjoy(1954) selon laquelle "le point n'est plus nécessairement considéré en lui seul. L'individu élémentaire est ce que possèdent en commun les groupements qui le contiennent. On envisage des enveloppements, et ce qui appartient à tous les enveloppements possibles est l'être lui-même, regardé comme partie de chacun d'eux"; ceci inclut en l'étendant la notion de "flou", de degré d'appartenance, de Zadeh. De toute façon, en soi et comme élément d'appréciation de la notion de continuité, un continuum est, au plus fin arithmétique, un contiguum hyperdense que l'on peut admettre comme séparé ou de Hausdorff, (i.e. possédant des voisinages dis-joints) ou comme semi-séparé (espace T_0) si l'on considère qu'un des points possède un voisinage qui ne contient pas l'autre. L'espace ici décrit vectoriel transfini très partiellement dénombrable est un espace linéaire non entièrement métrisable entièrement discret (sous-ensembles ouverts) ou, "a contrario", présentant la topologie la plus faible (=admettant le minimum d'ouverts) et rendu alors "entièrement métrisable" en introduisant l'hypothèse supplémentaire (de Mazur et de v. Neumann) qu'est l'axiome d'espaces localement convexes (avec entourages convexes aussi petits que désiré); ces espaces dits (B_0^*) alors complets (suivant le critère de convergence de Cauchy) sont ceux de Banach (B_0). Cependant la "distance" étant une notion contingente (Fréchet, 1951), la théorie générale de la mesure spatiale devra être approfondie dans le cadre des géométries affines, projective (et inverse) et par l'analyse non-standard (Robinson, 1970).