

# Traitement de l'information dans un organisme vivant

Autor(en): **Ribaupierre, François de**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mémoires de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **17 (1978-1987)**

Heft 1

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-259565>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Traitement de l'information dans un organisme vivant

PAR

FRANÇOIS DE RIBAUPIERRE

Pour un biologiste, la notion d'«information» est généralement confondue avec la signification du message et ne correspond donc pas au concept développé par Shannon. Dans l'optique du physiologiste, l'information que traite un système vivant est celle qui est nécessaire à sa survie en lui permettant de s'adapter au mieux aux variations de son milieu. L'organisme vivant est un système autoréglé, impliquant une prise continue d'information sur le milieu extérieur et intérieur, un traitement de cette information et sa redistribution vers l'ensemble des cellules constituant l'organisme. Nous ne considérons pas ici l'information génétique qui permet à l'organisme de se développer puis de maintenir son intégrité.

### ECHANGE D'INFORMATION AU NIVEAU CELLULAIRE

Chaque cellule est limitée par une membrane, jouissant de propriétés biophysiques précises permettant de contenir la matière vivante tout en assurant les échanges indispensables avec le milieu extérieur. Le transfert d'information ne peut se faire qu'au travers ou par l'intermédiaire de cette membrane. Celle-ci peut se différencier et se spécialiser de façon à:

- capter une variation d'énergie physique ou chimique provenant du milieu extérieur ou intérieur (récepteur sensoriel),
- transporter cette information à distance (nerf),
- reconnaître spécifiquement certaines molécules élaborées par l'organisme (hormone, neurotransmetteur).

La distribution de l'information vers les cellules peut se faire de deux façons:

- 1) par voie sanguine: le sang transporte certaines molécules spécifiques (hormones) qui seront reconnues par les cellules intéressées;

- 2) par voie nerveuse: le système nerveux est spécialisé dans la prise, le transfert et l'analyse de l'information. C'est à ce système que le reste de cet exposé est dévolu.

**TRAITEMENT DE L'INFORMATION  
PAR LE SYSTÈME NERVEUX**

**A) Unité fonctionnelle: le neurone**

Le système nerveux est formé d'un ensemble de cellules ou neurones. Le neurone représente l'unité structurale et fonctionnelle de base à partir de laquelle est construit le système hypercomplexe qu'est le cerveau. Le neurone présente une polarisation fonctionnelle avec une région réceptrice et intégratrice (dendrites), une ligne de transmission (axone) et une région effectrice (terminaisons synaptiques). La figure 1 illustre très schématiquement quelques propriétés du neurone. L'axone transmet un signal tout ou rien: le potentiel d'action qui est une brusque variation du potentiel électrique constamment présent dans la cellule au repos. Ce potentiel d'action se transmet en se régénérant de proche en proche le long de la fibre nerveuse, ce qui lui assure une amplitude constante. La vitesse à laquelle se fait cette propagation est fonction de certaines caractéristiques de la fibre, en particulier de son diamètre, et peut aller chez les vertébrés de moins de 1 m/sec à plus de 100 m/sec. L'axone représente donc une ligne de transmission digitale à vitesse finie.

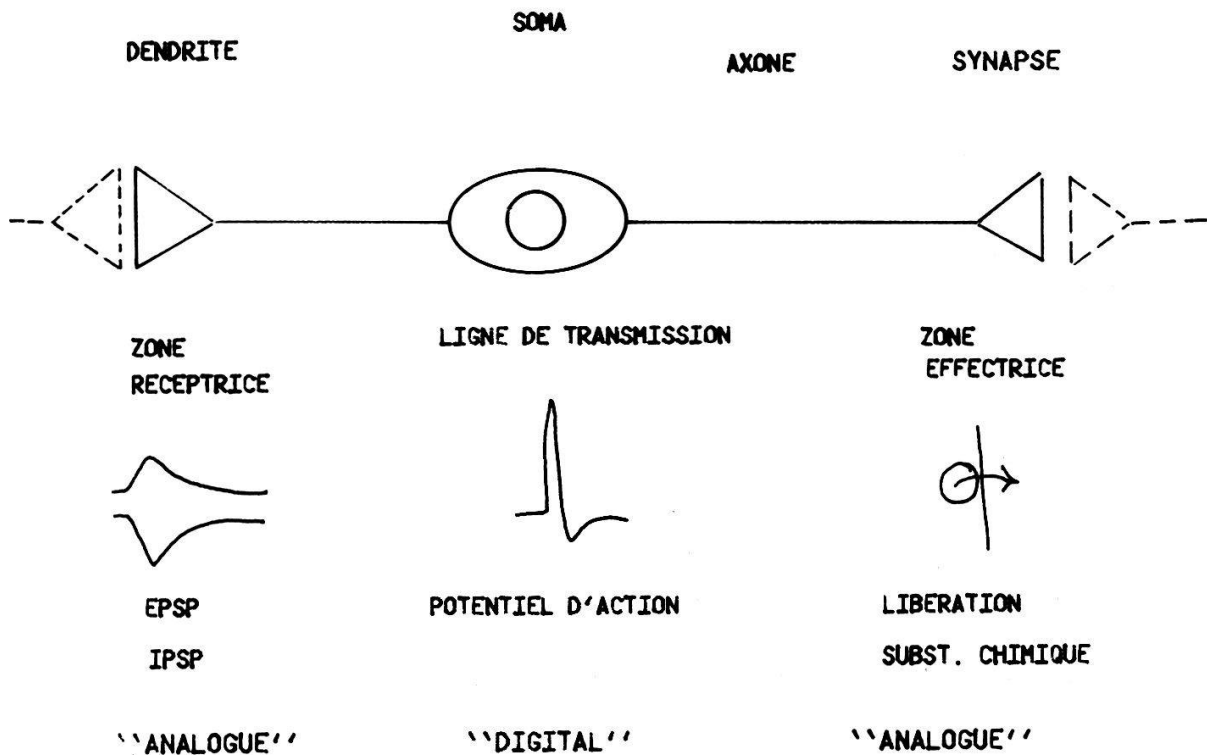


Fig. 1. - Représentation fonctionnelle du neurone.

La zone réceptrice permet de moduler le potentiel de repos du neurone proportionnellement au signal présent à l'entrée: variation d'énergie physique ou chimique pour les récepteurs sensoriels, quantité de substance chimique (neurotransmetteur) libérée pour les jonctions entre neurones. Cette variation de potentiel reste localisée et s'atténue exponentiellement en fonction des propriétés électriques de la membrane cellulaire. Elle va éloigner (potentiel postsynaptique d'inhibition IPSP) ou rapprocher (potentiel postsynaptique d'excitation EPSP) le potentiel de membrane du seuil d'excitation à partir duquel va se déclencher puis se propager un potentiel d'action. La fréquence de décharge des potentiels d'action sera d'autant plus élevée que l'EPSP sera grand. On a donc l'équivalent d'une conversion «tension-fréquence» au niveau de la zone réceptrice.

La zone effectrice permet de retraduire la fréquence des impulsions en une quantité proportionnelle de neurotransmetteur libéré à la terminaison. Les molécules vont modifier les propriétés de la membrane des éléments récepteurs suivants et moduler leur potentiel de repos.

On peut donc concevoir que chaque neurone est le siège d'une conversion analogue-digitale, d'une transmission digitale et d'une reconversion digitale-analogue. Le traitement de l'information par un réseau de neurones est à l'origine analogique et sa digitalisation semble servir avant tout à garantir une transmission rapide et fiable. En effet, on connaît des exemples où les neurones ont des prolongements très courts, comme dans la rétine; l'étape digitale est alors supprimée. Ceci montre que la digitalisation de l'information dans le système nerveux n'est pas une condition indispensable à son traitement, mais ne permet pas d'exclure qu'elle puisse jouer un rôle capital dans certains types d'analyses, la détection de coïncidence par exemple.

#### B) *Capacité de transmission des fibres nerveuses*

Le potentiel d'action représente l'élément unitaire de l'information transmise par une fibre nerveuse. La durée est de l'ordre de la milliseconde. Il est accompagné d'une période du même ordre de grandeur pendant laquelle la fibre est inexcitable et incapable de conduire un nouveau potentiel d'action. Ceci nous donne une limite maximale de transmission de 1000 impulsions par seconde. Si le potentiel d'action lui-même représentait le code sous lequel l'information est transmise, on aurait donc une capacité de transmission maximale de l'ordre de 1000 bits/sec.

Si on considère par contre que l'information est codée par la durée de l'intervalle séparant chaque potentiel d'action, il faut tenir compte des propriétés du récepteur (temps d'«intégration»), de la période réfractaire et de la fréquence moyenne de décharge d'une fibre. En fonction d'assomptions raisonnables sur ces conditions, on peut calculer une capacité maximale de transmission de l'ordre de 200 bits/sec pour une fibre. Ceci permet d'évaluer le flux d'information qui passe à travers le système nerveux. Le

nerf auditif est composé d'environ 30000 fibres chez l'homme, ce qui donnerait une capacité maximale de transmission de l'ordre de  $10^7$  bits/sec, ce qui dépasse nettement la valeur que représente la parole en tant que source d'information (environ  $6,5 \cdot 10^4$  bits/sec). Or il est probable que, pour la parole, nous ne transmettions qu'une fraction de son information et que la capacité effective de transmission du nerf auditif soit nettement inférieure. Dans notre calcul, nous avons admis que la ligne n'était pas bruyante. Or on observe en fait que l'on peut avoir des potentiels d'action indépendamment de toute information acoustique présente à l'entrée. Ce «bruit» neuronal peut être apprécié et introduit dans le calcul de la capacité de transmission qui devient alors de l'ordre de  $8 \cdot 10^3$  bits/sec pour le nerf auditif, ce qui correspond aux estimations fournies par des mesures psychophysiques (voir RINK, 1973).

La figure 2 donne une vue schématique du flux d'information à travers le système nerveux ainsi que l'ordre de grandeur du nombre des neurones impliqués. La prise d'information par l'ensemble des organes sensoriels est de l'ordre de  $10^9$  bits/sec. Cette information est distribuée pour être analysée dans le système nerveux central. Ce chiffre contraste avec le faible débit d'information dont nous prenons conscience qui est de l'ordre de  $10^2$  bits/sec. A partir de cette prise de conscience s'élabore une réponse motrice impliquant à nouveau une amplification considérable de l'information qui est distribuée vers les effecteurs moteurs pour assurer la parole, la mimique et la motricité générale.

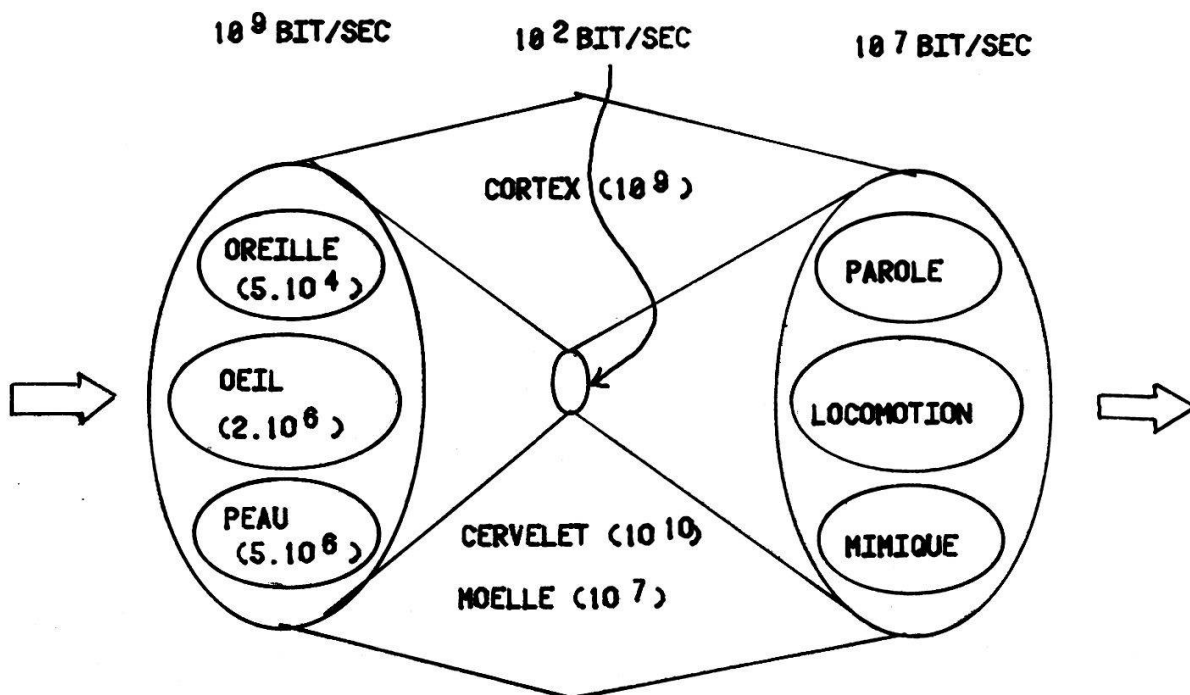


Fig. 2. – Flux d'information chez l'homme (modifié d'après U.D. KELDEL). Chiffres entre parenthèses = nombre de neurones impliqués.

### C) *Traitement de l'information par un ensemble de neurones*

Le système nerveux est constitué par quelques milliards de neurones interconnectés entre eux de façon complexe. Des études anatomiques et électrophysiologiques fines commencent à lever un peu le voile sur cette organisation. Chaque modalité sensorielle, par exemple, possède des voies spécifiques qui présentent certaines propriétés communes: l'information est traitée en parallèle par un nombre variable de centres hiérarchisés entre lesquels des régulations en «feed back» et en «feed forward» sont possibles. Ces centres conservent les relations topologiques présentes à l'entrée dans le système (organisation «somatotopique») assurant ainsi une représentation parfaitement ordonnée spatialement à tous les niveaux. Ces centres semblent extraire progressivement des caractéristiques invariantes, simples, à partir desquelles un stimulus complexe peut être reconstitué (extraction de lignes droites par le système visuel, par exemple).

Il existe une redondance importante de l'information dans le sens qu'un grand nombre de neurones dans une voie donnée transmet une information pratiquement identique. Mais chaque neurone pris individuellement ne répondra jamais exactement de la même façon à la répétition d'un stimulus donné. Ceci introduit une variabilité statistique de la réponse liée en partie au bruit interne de la ligne de transmission. D'où la nécessité de multiplier les lignes de façon à pouvoir sortir le signal du bruit par corrélation entre elles.

La reconnaissance et l'identification d'un signal sont liées à l'existence de données mémorisées accessibles. La mémoire a la propriété de ne pas être localisée à un endroit particulier du cerveau, mais d'être au contraire distribuée. On distingue une mémoire à court terme que l'on cherche à expliquer par une recirculation de l'information dans des circuits réverbérants, et une mémoire à long terme qui serait liée à des modifications synaptiques de longue durée. Si la nature de la mémoire n'est encore que du domaine des hypothèses, on peut essayer d'en apprécier la dimension chez l'homme. Des estimations diverses semblent converger vers un ordre de grandeur de  $10^9$  à  $10^{10}$  bits. Il est intéressant de noter que ce chiffre est du même ordre que l'information génétique contenue dans le DNA.

*En résumé*, nos connaissances sont relativement précises sur la structure et le fonctionnement de l'unité de base du système nerveux: le neurone. Chaque neurone est capable de traiter l'information qui converge continuellement sur lui et de la redistribuer vers d'autres neurones, codée sous forme de trains d'impulsions. C'est de ces échanges continuels d'informations entre neurones que naissent les propriétés étonnantes de notre cerveau. Pour les expliquer, on en est réduit à formuler des hypothèses, fondées sur l'étude des relations anatomiques qui existent entre les neurones, sur la façon dont elles s'établissent et se maintiennent et sur leurs propriétés fonctionnelles. Nous n'avons fait que survoler très succinctement certains

aspects de ces problèmes. Nous renvoyons le lecteur intéressé aux références données ci-dessous.

#### RÉFÉRENCES

- ECCLES, J. C., 1973. – The understanding of the brain. McGraw Hill, Book company.
- GRIFFITH, J. S., 1971. – Mathematical Neurobiology. Academic Press.
- MOUNTCASTLE, V. B., 1974. – Medical Physiology, vol. 1, 13<sup>e</sup> éd. Mosby Company.
- RINK, R. E., 1973. – Information Theory of neural noise in Hearing. *Mathematical Biosciences* 16, 129–142.
- SOMMERHOFF, S., 1974. – Logic of the living brain. John Wiley and Son.