

Revue Internationale de

ISSN 0980-1472

systemique

Vol. 11, N° 2, 1997

afcet

DUNOD

AFSCET

Revue Internationale de
systemique

Revue
Internationale
de Sytémique

volume 11, numéro 2, pages 128 - 145, 1997

Interprétation systémique
de la communication intercellulaire

Louis-Marie Vincent

Numérisation Afcet, mars 2016.



Creative Commons

Rédacteur en chef : B. Paulré
Rédacteur en chef adjoint : E. Andreevsky

Comité scientifique

J. Aracil, Université de Séville; H. Atlan, Université Hébraïque de Jérusalem; A. Bensoussan, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique; M. Bunge, Université McGill; C. Castoriadis, École des Hautes Études en Sciences Sociales; G. Chauvet, Université d'Angers; A. Danzin, Consultant indépendant; P. Davous, EUREQUIP; J. P. Dupuy, CREA - École Polytechnique de Shanghai; R. E. Kalman, Université de Tsukuba; H. von Foerster, Université d'Illinois; N.C. Hu, Université de Technologie de Shanghai; R. E. Kalman, École Polytechnique Fédérale de Zurich; G. Klir, Université d'État de New York à Binghamton; E. Laszlo, Institution des Nations Unies pour la Formation et la Recherche; J.-L. Le Moigne, Université Aix-Marseille II; J. Lesourne, Conservatoire National des Arts et Métiers; L. Löfgren, Université de Lund; N. Luhmann, Université de Bielefeld; M. Mesarovic, Université Case Western Reserve; E. Morin, École des Hautes Études en Sciences Sociales; E. Nicolau, École Polytechnique de Bucarest; A. Perez, Académie Tchécoslovaque des Sciences; E. W. Ploman, Université des Nations Unies; I. Prigogine, Université Libre de Bruxelles; B. Roy, Université Paris-Dauphine; H. Simon, Université Carnegie-Mellon; L. Sfez, Université Paris-Dauphine; R. Trappl, Université de Vienne; R. Thom, Institut des Hautes Études Scientifiques; F. Varela, CREA - École Polytechnique.

Comité de rédaction

Bureau

D. Andler, CREA - École Polytechnique (*Rubrique Cognition*); E. Andreevsky, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (Rédacteur en chef adjoint); H. Barreau, Centre National de la Recherche Scientifique (*Rubrique Archives*); E. Bernard-Weil, CNEMATER - Hôpital de la Pitié (*Rubrique Applications*); B. Bouchon-Meunier, Centre National de la Recherche Scientifique (*Rubrique Applications*); P. Livet, CREA - École Polytechnique (*Rubrique Fondements et Épistémologie*); T. Moulin, École Nationale Supérieure des Techniques Avancées (*Rubrique Théorie*); B. Paulré, Université de Paris I, Panthéon-Sorbonne (Rédacteur en chef); J. Richalet, ADERSA (*Rubrique Applications*); R. Vallée, Université Paris-Nord (*Rubrique Théorie*); J.-L. Vuillierme, Université de Paris I (*Rubrique Fondements et Épistémologie*).

Autres membres

J.-P. Aigoud, Université Lyon-II; A. Dussauchoy, Université Lyon-I; E. Heurgon, Régie Autonome des Transports Parisiens; M. Karsky, ELF-Aquitaine - CNRS; M. Locquin, Commissariat Général de la Langue Française; P. Marchand, Aérospatiale - Université Paris-I; J.-F. Quilici-Pacaud, Chercheur en Technologie; A. Rénier, Laboratoire d'Architecture n° 1 de l'UPA 6; J.-C. Tabary, Université Paris-V; B. Walliser, École Nationale des Ponts et Chaussées; Z. Wolkowski, Université Pierre-et-Marie-Curie.

Membres correspondants

ARGENTINE : C. François (Association Argentinienne de Théorie Générale des Systèmes et de Cybernétique). BELGIQUE : J. Ramaekers (Facultés Universitaires de Notre-Dame de la Paix). BRÉSIL : A. Lopez Pereira (Université Fédérale de Rio de Janeiro). ESPAGNE : R. Rodriguez Delgado (Société Espagnole des Systèmes Généraux). ÉTATS-UNIS : J.-P. Van Gigh (Université d'État de Californie). GRÈCE : M. Decleris (Société Grecque de Systémique). ITALIE : G. Teubner (Institut Universitaire Européen). MAROC : M. Najim (Université de Rabat). MEXIQUE : N. Elohim (Institut Polytechnique National). SUISSE : S. Munari (Université de Lausanne).

Revue Internationale de Systémique is published 5 times a year: March, May, July, September, December. Date of issue: May 1997.
Second-class postage paid at Rahway, N.J. ISSN N° 0980-1472, USPS N° 007728.
U.S. Mailing Agent: Mercury Air-freight Intl. Ltd., 2323 Randolph Ave., Avenel, NJ07001.
Published by Dunod, 120, bd Saint-Germain, 75280 Paris Cedex 06, France and Gauthier-Villars North America Inc., 875-81 Massachusetts Avenue, Cambridge, MA 02139, USA.
Postmaster. Please send all address corrections to: Dunod, c/o Mercury Air-freight Intnk. Ltd. 2323 Randolph Ave., Avenel, NJ 07001, USA.

INTERPRÉTATION SYSTÉMIQUE DE LA COMMUNICATION INTERCELLULAIRE

Transmission et intégration de l'information

Louis-Marie VINCENT¹

Résumé

La transmission intercellulaire de l'information par voie chimique est maintenant assez bien connue et décrite par la biologie moléculaire. Cependant, du point de vue informationnel, la Théorie des Transferts de Données, qui prend en compte la signification des messages, conduit à considérer la transmission de l'information non plus du seul point de vue moléculaire, mais de celui de la cellule. Il est montré que c'est elle, en tant que système organisé, qui interprète les signaux moléculaires et leur confère une signification vis-à-vis de l'organisme.

Ce changement de niveau de description, de l'infra-vivant moléculaire au vivant cellulaire, permet une meilleure compréhension de faits tels que le rôle des territoires cytoplasmiques, et d'une façon générale du rôle de l'information dans l'organisme.

Abstract

A new theory of information, the *theory of data transfers*, takes in account the meaning of a message. This leads to consider the intercellular transmission of information not only from the molecular point of view, but from the one of the cell, which is the smallest living unit.

Its the cell as a whole, as an organized system, that interprets molecular signals and endows those signals a meaning towards the organism. Changing the level of description, from molecular non-living level, to the living cellular level, leads to a new understanding of many facts as the role played by cytoplasmic areas or, generally speaking, of the role of information in the organism.

1. Groupe d'étude des champs biologiques, 56, av. du Maréchal de Lattre de Tassigny, 62100 Calais.

I. INTRODUCTION

Les difficultés soulevées par l'emploi en biologie de la théorie de l'information de Shannon, sont bien connues. René Thom la considérait comme « un instrument décevant ». Une analyse que nous en avons faite [23] nous a conduit à proposer un formalisme [24], qui inclut la signification, c'est-à-dire la dimension sémantique de l'information.

Cette réintroduction du sens est justifiée par le fait que les publications biologiques, utilisent toujours (implicitement, car elle ne le définissent jamais) le terme *information* dans son acceptation usuelle, synonyme de *connaissances* (nouvelle ou non) ou *d'instructions à suivre* et non dans le sens shannonien. Cela apparaît clairement dans des expressions couramment employées telles que "information transmise par les ADN".

Nous nous proposons de montrer dans ce travail que cette *dimension sémantique* qui confère à l'information une nature complexe n'existe pas seulement au niveau des organismes supérieurs, mais aussi à celui de la cellule. Ce constat a conduit à une nouvelle lecture des faits [26] qui constitue une approche systémique de la transmission intercellulaire de l'information.

II. LA COMMUNICATION INTERCELLULAIRE

Telle qu'elle est décrite dans les traités de biologie, la communication entre cellules se fait principalement au moyen de signaux chimiques qui commandent des réactions physiologiques et biochimiques très diverses [5, 16].

Dans la plupart des cas, des molécules (les *premiers messagers*) véhiculant les messages (et considérées, nous le verrons, à tort comme porteuses de l'information), ne pénètrent pas dans la cellule-cible. Ces molécules sont détectées par des récepteurs situés au niveau de la membrane plasmique, récepteurs sur lesquels elles se fixent lorsqu'il y a conformité.

Cette réaction déclenche une série d'événements (la transduction), par l'intermédiaire de protéines membranaires et d'enzymes amplificatrices. Elles produisent, par les voies diverses les *seconds messagers* (*AMP cyclique, ions calcium...*), lesquels, finalement, induiront l'activité de certaines protéines cellulaires, leurs cibles, par des modifications de leur conformation.

Une telle description du processus de communication, en termes moléculaires est, assurément, correcte. Les réactions sont, bien entendu, conformes aux lois de la chimie et de la physico-chimie et explicables par celles-ci.

Cependant il est clair que leur *enchaînement* ne peut être considéré comme fortuit et assimilé aux réactions *in vitro*, dans lesquelles les chocs moléculaires sont entièrement aléatoires.

L'enchaînement de ces réactions, l'ordre dans lequel elles se déroulent, résultent de ce que la cellule, la plus petite unité vivante, est *un ensemble organisé d'éléments en interactions*, ce qui, par définition, constitue un *système*.

C'est bien ce *système* qui est le destinataire du message et non une molécule-cible particulière : la réponse au message, qu'elle soit de nature métabolique ou structurale, implique, en effet, la participation de la *cellule entière* en tant qu'ensemble moléculaire organisé.

Ces constatations, pour banales qu'elles puissent paraître, amènent à conclure qu'en ce qui concerne la communication, le mode de description purement moléculaire *n'est pas pertinent* pour rendre compte d'événements qui intéressent un niveau d'organisation supérieur à celui de la molécule, défini en particulier par une *discontinuité* des propriétés et une *discontinuité* d'organisation, relativement au niveau sous-jacent [2, 3, 4]. Un autre mode de description est donc nécessaire. En conséquence, nous ne regarderons plus les choses du point de vue moléculaire, décrivant linéairement une chaîne de réactions, mais nous nous placerons au niveau de la cellule, et du point de vue de ce qui est l'objet même de la communication : l'information.

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire, à son propos, de rappeler quelques-uns des éléments essentiels sur lesquels nous nous sommes appuyés.

III. LA THÉORIE DES TRANSFERTS DE DONNÉES

Dans le travail cité plus haut [24], nous avons élaboré sous le nom de « théorie des transferts de données » (TTD) une nouvelle approche de l'information qui tient compte de la signification c'est-à-dire de sa *dimension sémantique*.

On peut définir la TTD comme une théorie de *transfert de connaissances*. Elle considère seulement les données reçues et non celles émises, ce qui impliquerait des problèmes de communications qui ne sont pas l'objet de cette théorie.

La TTD s'intéresse uniquement à « ce que fait » le récepteur des données qui lui parviennent ; elle complète ainsi la théorie des communications qui, elle, s'intéresse uniquement à ce qui « parvient » au récepteur, sans s'inquiéter de ce qu'il peut en faire.

Les points essentiels de cette théorie sont :

– L'abandon de la notion probabiliste d'événement, remplacée par celle de probabilité de *reconnaissance de forme*. C'est un mécanisme quasi universel qui intervient dans la reconnaissance des écritures, des visages, la reconnaissance des odeurs et des saveurs, etc. [8, 9, 21].

– L'utilisation du mot "information" dans son acceptation courante de *connaissance* ou d'instructions, transmise à un système récepteur. De ce fait, on considère que l'information comporte deux parties :

1) *Le support* (le signifiant dans la terminologie linguistique saussurienne), partie matérielle, pouvant consister en lettres écrites, ou signaux divers de toutes natures, physiques ou chimiques. Le support peut être décomposé en éléments discrets, organisés.

2) *La signification*, le sens (appelé aussi signifié ou sémantique), qui caractérise la connaissance ou l'instruction à exécuter. C'est la partie subjective de l'information, qui possède les propriétés des entités abstraites : elle est non-locale, a-temporelle, non conservative.

Elle n'est pas mesurable, mais repérable sur une échelle arbitraire.

La nature et l'origine des relations entre le support et la signification n'ont pas à rentrer en ligne de compte dans cette approche de l'information.

La signification, telle qu'elle est définie par les sémanticiens, assimilée à un « contenu de pensée », *n'existe que chez le vivant, au niveau mental*, au niveau de son système cognitif (ce terme étant pris dans son sens le plus large).

Cela entraîne pour conséquence essentielle qu'*un message*, pris isolément, *ne transporte pas de signification, donc pas d'information*.

Il transporte seulement des *données*, interprétables ou non par le récepteur (d'où le nom donné à cette théorie) c'est-à-dire susceptibles ou non d'induire des *modifications dans le système cognitif du récepteur*.

En d'autres termes : *Le message n'apporte une information que s'il est interprété par le récepteur; c'est-à-dire si celui-ci peut lui faire correspondre une signification*.

Pour que cela soit possible, le récepteur doit avoir *prémémorisé* ces significations (exemple des mots d'une langue étrangère qu'il faut apprendre).

L'*interprétation* consiste à comparer *la forme du message* à celle d'un modèle résidant en mémoire dans le système cognitif du récepteur. La reconnaissance *actualise* la signification correspondante. Les connaissances nouvelles résulteront du traitement par le système cognitif, des *significations actualisées* : cela correspond, dans le domaine linguistique à l'émergence du sens nouveau d'un syntagme ou d'une phrase, formés à partir de mots connus.

IV. L'INFORMATION DANS L'ORGANISME VIVANT

Concrètement, chez un être vivant, le support de nature matérielle auquel une signification se trouve associée pourra être constitué, par exemple, par une configuration particulière d'un réseau de neurones ou celle d'une molécule ou éventuellement par un champ physique [25].

Quelle que soit sa nature, nous le désignerons sous le nom de *support mémoriel résident* (SMR). Le SMR est l'équivalent biologique du signifiant.

Eu égard à la prémémorisation nécessaire des significations, cela revient à dire que chaque système cognitif doit comporter un ensemble de couples SMR-Signification, ces dernières étant normalement à l'état latent (ou potentiel, ou virtuel, ou infra-conscient, etc.).

L'interprétation sera l'opération consistant à comparer la forme du message à celles des SMR du système cognitif. La reconnaissance de l'une d'elles *actualisera* la signification associée au SMR correspondant.

V. L'INFORMATION À L'ÉCHELLE CELLULAIRE

Mais ce processus est-il encore valable à l'échelle cellulaire ?

On serait en droit de supposer qu'à ce niveau les processus informationnels se ramènent à de simples actions stéréochimiques du type clé-serrure d'où la signification, propre aux systèmes cognitifs des êtres les plus évolués, est absente.

Pourtant à y regarder de plus près, les choses ne sont pas aussi simples.

V.1. Existence de la signification

Une analyse [23] a montré que la seule explication stéréochimique est insuffisante. En effet, les opérations de transduction consistent : « en une succession de relais chimiques où la forme des molécules est modifiée, où le message change de support (protéines → AMP, Ca⁺⁺)... ». *Ce qui subsiste* à travers les différents changements structurels et fonctionnels des messagers chimiques, c'est l'*intentionnalité* du message, c'est-à-dire l'obtention d'une *réponse spécifique*.

Elles constituent, stricto sensu, la *finalité* du message, en d'autres termes, sa raison d'être, sa *signification*. Nous verrons dans une étude ultérieure que cette interprétation peut être précisée en introduisant la notion de "réfèrent".

Que les messages soient suivis d'effets spécifiques implique qu'ils ont été interprétés par le destinataire, c'est-à-dire par la cellule, puisque l'on peut exclure a priori des réponses de type aléatoire.

Ceci est particulièrement évident lorsque le second messenger est un simple ion Ca^{++} , capable de déclencher, suivant les cas, des réactions aussi différentes que la contraction d'un muscle ou la sécrétion d'une hormone. Il faut bien admettre que les actions qu'il induit, qu'il déclenche, ont été prémémorisées, ou si l'on préfère, préprogrammées.

Il paraît donc difficile que tout puisse être ramené à de simples effets de coaptation mécanique du type "clé-serrure".

Une démonstration supplémentaire est fournie par des processus de communication intercellulaires complexes mettant en jeu chez les végétaux des mécanismes physiques [15]. Ils ont été mis en évidence par les travaux de Desbiez et ses collaborateurs. Ces chercheurs ont soumis des plantes (*Bidens pilosa* et *Bryonia dioïca*) à différents stress, tels que piqûres ou frottements.

« Elles perçoivent – écrivent-ils – ces niveaux qui induisent une cascade d'événements allant de la transduction du signal en message qui peut être transmis à distance et reçu par des cellules-cibles qui le traduiront en réponses métaboliques et finalement morphogénétiques ».

Ils ont constaté que la transmission à distance des messages est trop rapide pour être interprétée par la diffusion d'une substance. Ils ont pu montrer effectivement qu'une dépolarisation électrique est associée au transport du message. En outre, ils ont mis en évidence le stockage de cette information, de plusieurs jours à plusieurs semaines, pour en différer les effets jusqu'à ce que des conditions favorables soient réunies.

Cet essai dans lequel un stimulus physique est transformé en signaux chimiques puis électriques, lesquels sont interprétés à leur tour et mémorisés sous forme d'une réponse chimique, fournit un bon exemple de cas où il semble tout à fait impossible de réduire la communication à la seule stéréochimie : il paraît difficile de comparer le profil d'une onde de pression à la forme d'une molécule et celle-ci à son tour à une onde de dépolarisation.

Là encore, ce qui est transmis, c'est la signification du stimulus, signal physique perçu par la plante comme une agression, à laquelle elle répond par une augmentation de sa teneur en lignine, c'est-à-dire par un renforcement de sa résistance mécanique.

Que les processus soient dépendants de facteurs physiques ou chimiques, ne contredit par l'existence d'une signification "abstraite", pas plus, d'ailleurs

que les coaptations qui correspondent au stade d'identification des messages par reconnaissance de forme.

En résumé, quels que soient ces mécanismes, la notion de *signification* ne peut être écartée : tout se passe comme si le message avait été "compris", interprété (selon la définition donnée plus haut) par son destinataire, c'est-à-dire la cellule. A travers les différents intermédiaires chimiques ou physiques, c'est l'intentionnalité du message, sa "raison d'être", l'obtention d'une réponse spécifique, qui est conservée.

C'est cette réponse spécifique qui constitue la *signification* du message, ce mot, ou celui de "sens", étant employé selon la définition cybernétique qu'en donne Raymond Ruyer [20] : « ensemble des actions déclenchées par une information ». C'est-à-dire qu'à l'échelle cellulaire ou intracellulaire, la *signification* peut être identifiée *stricto sensu* à la *spécificité* de la cible du message. Par exemple à la fonction chimique d'une protéine-cible ou à ses propriétés mécaniques telles que la contraction (Figure 1 B).

V.2. Le processus informationnel

Il est aisé de retrouver à l'échelle de la cellule les différents éléments de la transmission de l'information.

a) La reconnaissance de la forme des messages

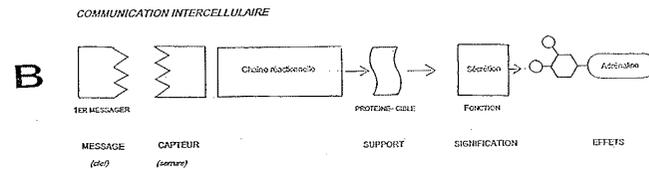
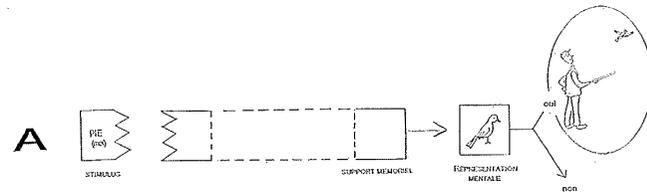
La reconnaissance des messages au niveau humain comporte une analyse du stimulus. Si celui-ci correspond à quelque chose de connu, le stimulus active la représentation mentale correspondante en mémoire [11] (Figure 1 A). Au niveau cellulaire la reconnaissance de la forme du premier messenger (La clé) est effectuée par le capteur membranaire (la serrure) qui constitue le *système d'identification* (Figure 1 B). Il est évident que l'étroite spécificité du capteur et les activités de la chaîne réactionnelle réalisant la transduction correspondent à des *actions préprogrammées* dans le cadre de l'organisation cellulaire.

b) L'interprétation

La reconnaissance du mot ou du signal actualise une signification engrammée dans la mémoire du destinataire humain.

Au niveau cellulaire, la reconnaissance permet d'actualiser une "signification" (suivant la définition précédente) prémémorisée et existant à l'état latent¹ par exemple le passage d'une protéine sous sa forme active.

Il est clair que si cette action n'avait pas été préprogrammée (par exemple absence de la protéine cible), le message serait sans effet.



Cela confirme que, le *premier messenger, pattern spatio-temporel*, ne transmet, stricto sensu, aucune information. Comme au niveau humain, il *ne transporte que des données qui sont interprétées par le récepteur*.

Quant aux autres intermédiaires ils constituent seulement des *voies de transmissions internes*.

Il importe de ne pas confondre le système d'identification (la serrure) avec le support mémoriel *dont il peut être distinct ou non*. Au niveau cellulaire, le *support-mémoriel résident* de notre terminologie correspondra à la cible elle-même, la protéine spécifique.

Message, système d'identification et support mémoriel sont des *éléments matériels*. Seuls les deux derniers appartiennent en propre au récepteur d'où le qualificatif de résident.

c) La signification

La *signification* associée à la protéine-cible (SMR) est la *fonction* qu'elle est capable de remplir, *en coordination avec l'ensemble de l'organe ou de l'organisme*.

La notion de fonction ou de finalité est bien une notion abstraite. Elle est distincte de ses *effets matériels*, qui eux, sont mesurables ou analysables : molécule sécrétée, changements dimensionnels, etc.

La signification est insécable [19, 22] : la notion de fonction possède bien cette propriété ; la protéine est inactive ; la fonction n'existe pas (ou existe à l'état potentiel). La protéine est activée, sa fonction s'exerce.

Il est aisé de voir, que la lecture systémique qui est faite du processus de communication est indépendante de la nature même de la signification².

C'est pourquoi, sans entrer dans des considérations philosophiques, on peut se contenter de la qualifier "d'abstraite" ou plus précisément de *non-physique* au sens habituel du terme.

VI. EXEMPLES DE NOUVELLES LECTURES

Les analyses qui précèdent portent sur un schéma tout à fait général de la communication intercellulaire.

Le mode de lecture informationnel proposé attire tout particulièrement l'attention sur le rôle du cytoplasme dans la biologie du développement [12, 18] et la distinction entre hérédité mendélienne et non-mendélienne. Il tend à relativiser la totipotence des gènes.

Nous nous limiterons à deux exemples :

Le premier est fourni par les études de Boveri et de Horstadius [17] sur le développement et la différenciation des œufs de *paracentrotus lividus* et de *arabacia punctulata*, sectionnés, après fécondation, perpendiculairement à l'axe pôle animal-pôle végétatif, les noyaux étant localisés dans l'une ou l'autre moitié.

Ces expériences bien connues ont montré que toutes les moitiés privées de noyau dégénéraient.

Pour les autres, le développement était plus complet dans la moitié végétative que dans la moitié animale, bien que l'une et l'autre possèdent une "information" nucléaire complète et identique.

On a déduit de ces expériences qu'il existe au sein du cytoplasme des éléments qui contrôlent, au moins partiellement la morphogenèse, et *préexistent* avant la première division nucléaire et cellulaire. F. Lints conclut à leur propos [18] : « Ce que sont ces éléments et ce qu'est leur mode d'action n'est pas clair ». Pour nous, l'interprétation est la suivante : les messages nucléaires, conformément aux vues exposées plus haut, ne portent pas par eux-mêmes des "informations", ce qui rendrait les résultats incompréhensibles. Ils transmettent seulement des données, qui sont plus ou moins complètement interprétées, en fonction des compétences des différentes parties du cytoplasme, ou, en d'autres termes, en fonction des significations prémémorisées localement dans les régions animales et végétatives du cytoplasme.

La signification, dans son acceptation sémantique peut se voir attribuer des valeurs sur une échelle arbitraire, dont le choix dépendra du problème à résoudre.

Nous avons proposé d'utiliser comme échelle de valeurs, les niveaux sémantiques correspondant à ceux de mots, phrases, etc., chacun d'eux constituant une "unité sémantique" du niveau considéré. Ce type d'échelle a l'avantage, comme la quantité relative de données, d'être indépendant du langage utilisé et de ce sur quoi porte l'information.

On pourra attribuer à chacune de ces unités une valeur arbitraire uniforme $v \geq 1$ affectée d'un coefficient σ caractérisant les niveaux $\sigma = 1, 2, 3...$

Au cas où un support SMR ne correspondrait à aucune signification utilisable par le récepteur (analogie avec une langue inconnue dont le mot n'est pas compris), on posera : $v = 0$, ainsi la quantité d'information actualisée par le message sera nulle, même si $p = 1$.

Finalement la valeur de la signification sera donnée par : $V = v \cdot \sigma$.

Puisque, au niveau cellulaire, la signification correspond à la fonction que le messager peut activer, on pourra par analogie avec les niveaux sémantiques déterminer l'échelle arbitraire, en tenant compte par exemple du fait que la fonction affecte un tissu, un organe, ou l'ensemble de l'organisme.

VII.3. Effets d'un message multiple

Par message multiple on entend un message dont les données qu'il transporte correspondent à plusieurs unités sémantiques, de même niveau ou non. Trois cas peuvent se présenter.

- Le message répète plusieurs fois les mêmes signaux, correspondant à la même unité sémantique.
- Le message comporte des données correspondant à une suite d'unités sémantiques différentes et indépendantes.
- Le message comporte des données correspondant à des unités sémantiques différentes mais liées par des règles syntactiques.

Signaux identiques

Si le message est composé de plusieurs signaux identiques la QAM reste inchangée : la signification actualisée par le premier signal reste actualisée.

Par exemple, la détection de plusieurs molécules identiques par des capteurs membranaires influera éventuellement sur l'intensité du signal et l'intensité de l'effet produit mais non sur sa nature.

Un signal unique (ou une série de signaux identiques) n'apporte pas d'information nouvelle, il ne fait qu'actualiser une signification latente.

Il ne confère pas de compétence nouvelle à la cellule. Il active une fonction latente.

Signaux indépendants

Si le message est un message multiple, composé de signaux indépendants, correspondant à des significations différentes, isohypes ou non (par exemple plusieurs messagers visant des molécules-cibles différentes) l'information totale sera sur le plan quantitatif seulement (le nombre de légumes) la somme des informations unitaires :

$$I = \sum p_i V_i$$

Comme le signal simple ou les signaux répétitifs, les suites de signaux indépendants ne font qu'actualiser une ou plusieurs significations latentes.

Les messagers ne confèrent pas à la cellule de nouvelles compétences. Ils actualisent seulement des fonctions variées.

Changement de niveau de signification

Par contre la situation est différente pour une série de messages liés par des règles syntactiques. Les "mots" composent une "phrase", c'est-à-dire une unité sémantique de niveau supérieur.

Il a été montré en linguistique [22] que l'accès à ce niveau résulte d'un traitement parallèle des supports matériels d'une part, et des significations, d'autre part, résultant des règles syntactiques ; il en résulte l'*émergence* d'une *signification nouvelle unique*, de niveau supérieur, qui n'est en aucun cas la somme des unités sémantiques individuelles du niveau sous-jacent.

Celles-ci, du fait des règles qui les relient, peuvent être considérées comme un *système*. La valeur attribuée à la nouvelle unité sémantique de niveau r est arbitraire et dépend du contexte général ($v = 0$ si la "phrase" n'a aucune signification).

La valeur finale de la signification est le produit de v par la valeur du niveau sémantique σ correspondant :

$$V_r = v_r \cdot \sigma_r$$

La QAM correspondante à la réception du message sera égale au produit de la nouvelle unité sémantique de niveau r par la probabilité de reconnaissance du message.

$$I_r = P_r V_r$$

Soient respectivement p_1, p_2, p_3, \dots les probabilités de reconnaissance de chaque "mot" composant le message. La probabilité de reconnaissance du message complet sera évidemment donnée par le produit :

$$P_r = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \dots$$

La *signification émergente* constitue une information au sens trivial de connaissance nouvelle. Elle constitue un enrichissement du "système cognitif" du récepteur.

C'est ce qui advient en particulier lors de la synthèse protéique. Elle correspond au processus par lequel les informations "simples" mémorisées par la cellule (les propriétés des acides aminés ou des polypeptides) font émerger des informations entièrement nouvelles, plus complexes, c'est-à-dire d'un niveau sémantique supérieur : la combinaison des supports matériels fournit un nouveau support, la protéine, dont les propriétés sont entièrement différentes de celles de ses composants. La synthèse permet à la cellule d'accomplir de nouvelles fonctions : *elle lui confère de nouvelles compétences.*

VII.4. Intégration

Les embryologistes ont reconnu que dans un organisme en développement la progression de la différenciation cellulaire était tributaire des échanges d'information entre cellules et en particulier des échanges cytoplasmiques (Chandebois [12]).

Si dans un organisme supérieur adulte, cet échange est principalement réalisé par les systèmes nerveux, endocrinien et immunitaire, dans un embryon il nécessite le contact direct entre cellules. Cela est démontré par le fait qu'une simple modification de ces contacts peut conduire un bourgeon de membre à produire soit du muscle soit du cartilage.

Il est clair que les communications doivent alors s'effectuer par les "gap junctions" ou par les contacts directs entre les constituants de la membrane plasmique.

Les observations embryologiques s'interprètent alors aisément : le contact direct permet la cession, par une cellule "informée" d'éléments cytoplasmiques permettant à la "cellule naïve" d'accéder par de nouvelles lectures aux informations de niveau supérieur. Cette dernière peut, en retour, transmettre à

la cellule donneuse des éléments d'interprétation qu'elle ne possède pas. Ces échanges de proche en proche permettront à un ensemble de cellules de "parler le même langage", c'est-à-dire, finalement, de constituer une entité tissulaire déterminée.

VIII. CONCLUSIONS

Un abord systémique de la communication intercellulaire montre que la conception d'une nature complexe de l'information, issue de la linguistique, lui est applicable...

Il faut insister sur le fait que cela ne constitue pas une simple analogie langagière, mais conduit, par un changement de niveau de description, à considérer les faits établis et leur interprétation, d'un point de vue différent.

Plus global, il permet de placer les mécanismes moléculaires dans une perspective indispensable pour aborder problèmes liés aux niveaux d'intégration.

Il aide à mieux évaluer le rôle et l'importance relative de ces différents mécanismes.

Il montre notamment que les étapes essentielles de la communication sont la reconnaissance du message externe, et la fonction de la protéine cible (sa signification), les étapes intermédiaires n'étant que les éléments d'une voie de communication interne.

La nature complexe de l'information est cohérente avec le petit nombre de seconds messagers peu spécifiques, alors que les premiers messagers sont constitués au contraire par une importante variété de molécules hautement spécifiques.

Lorsque le second messenger est un simple ion Ca^{++} , capable de déclencher des réactions aussi différentes que la contraction d'un muscle ou la sécrétion d'une hormone, il faut bien admettre que celles-ci ont été prémémorisées, ou si l'on préfère, préprogrammées.

C'est, appliquée à l'échelle moléculaire, la notion de polysémie bien connue des linguistes : le même signe, le même mot, peut revêtir des significations différentes suivant le langage utilisé ou suivant le contexte sémantique.

On comprendrait assez mal comment une même molécule aussi simple que Ca^{++} pourrait transporter une "information-objet" et quelle pourrait être la nature physique de celles-ci au regard des descriptions en termes d'interactions moléculaires.

La prise en compte de la signification pourra sans doute fournir un guide pour interpréter des voies de communication entre mal identifiées, et, en repla-

çant les faits connus dans une perspective différente, pour focaliser les recherches sur les facteurs essentiels. Les présentes analyses amènent à conclure que l'attention ne doit pas se porter seulement sur les messagers mais surtout sur leurs *interprétations*, sur les significations préexistantes aux messages, partie essentielle de l'information, c'est-à-dire sur les fonctionnalités des molécules-cibles, leurs relations avec les structures cellulaires et les conditions d'acquisition de ces fonctionnalités.

Cette nouvelle interprétation de la transmission intercellulaire de l'information conduit à conclure que, contrairement à certaines opinions [11] celle-ci ne serait pas fondamentalement de nature différente de la communication entre les organismes.

Au-delà du cas simple de la réception d'un message par une cellule, cette lecture systémique permet d'envisager comment des cellules, détenant chacune des informations particulières, peuvent coopérer pour réaliser une "banque de données" commune, conduisant à une intégration au niveau des tissus ou des organes.

Notes et références

1. C'est le même processus que la reconnaissance d'un mot écrit.
 2. Le signifié dans la terminologie saussurienne [1].
 3. C'est pourquoi on ne peut parler de "quantité". De même que pour une température, il faut, pour la signification, utiliser le mot "valeur". Pour la même raison, dans les déterminations quantitatives (et dans ce cas seulement) la signification doit être considérée en tant qu'*unité sémantique* (on dira aussi un signifié) indépendamment de ce qu'elle désigne de façon particulière (il est bien connu qu'on ne peut additionner les choux et les carottes contenus dans un panier, mais on peut additionner des légumes, ou encore le nombre d'objets contenus dans le panier !).
- [1] AMACKER, Linguistique saussurienne, *Librairie Droz*, Genève, 1975.
- [2] F. BAILLY, F. GAIL, R. MOSSERI, Fonctions biologiques, niveaux d'organisation et dimensions fractales, *Rev. intern. de systémique*, 2, p. 295, 1988.
- [3] F. BAILLY, Niveau d'organisation, Changement de niveau, *Actes du Congr. europ. de systémique*, Lausanne, 1989.
- [4] F. BAILLY, F. GAIL, R. MOSSERI, Hiérarchie des niveaux d'organisation biologique, *Rev. intern. de systémique*, 5, 1, 1991.
- [5] M. BERRIDGE, R. F. IRVINE, Inositol triphosphate a novel second messenger in cellular signal, *Lahrb Anat.*, 14, 630-653, 1901.
- [7] R. BRIGGS, T. KING, Nucleocytoplasmic interactions in Eggs and Embryos? in *The Cella I. J.*, 537-617, J. Brachet & A. E. Mirsky eds, 1959.
- [8] R. BRUYER, The neuropsychology of face perception and facial expression, *Erlbaum*, 1986.

- [9] R. BRUYER, Les mécanismes de reconnaissance des visages, *Presses Universitaires de Grenoble*, 1987.
- [10] CARNAP, Y. BAR HILLEL, An outline of theory of semantic information, tech repp n° 287, Research lab of electronics, Cambridge MA MIT 1952.
- [11] R. CHAMPAGNOL, La signification du langage, *PUF*, Paris, 1993.
- [12] R. CHANDEBOIS, Le gène et la forme, Ed. Espace 34, Montpellier, 1989.
- [13] F. COLLOT, Une théorie de la signification, *Rev. de bio-mathématique* n° 91, 1-52 1985.
- [14] COMBARNOUS, Biochimie des communications cellulaires, Lavoisier, Paris, 1994.
- [15] M. O. DEBIEZ, J. BOISSY, P. BONNIN, P. BOURGEADE, N. NOYER, G. DE JAEGHER, J. M. FRACHISSE, C. HENRY, J. L. JULIEN, Réponse à des signaux mécaniques. Communication inter et intra-cellulaire chez les végétaux, *Acta biotheoretica*, 39, 3-4, 1991.
- [16] D. FREIFELDER, Biologie moléculaire, Masson, Paris, 1990.
- [17] S. HORSTADIUS, Über die Determination des Keimes bei Echinodermen, *Acta Zool.*, 9, 1-191, 1928.
- [18] F. LINTS, Génétique 3, *Office intern. de librairie*, Bruxelles, 1991.
- [19] J. PERROT, La linguistique, Coll. Que sais-je ?, *PUF*, Paris, 1989.
- [20] R. RUYER, La cybernétique, Flammarion, Paris, 1954.
- [21] D. SILVERA, Le goût sucré, Un sens énigmatique, *La Recherche* n° 200, 1988.
- [22] I. TAMBA-MECZ, La sémantique, Coll. Que sais-je ? *PUF*, Paris, 1988.
- [23] L. M. VINCENT, Réflexions sur l'usage en biologie de la théorie de l'information, *Biotheoretica Acta*, 42, 167-179, 1994.
- [24] L. M. VINCENT, Theory of data transfers, *Biotheoretica Acta*, 41, 139-45, 1993.
- [25] L. M. VINCENT, R. DUTHEIL, Le concept de champ biologique, élément continu du vivant, *Rev. de Bio-mathématique* XXIX, 116, 13-35, 1991.
- [26] L. M. VINCENT, Modèle interprétatif de la transmission intercellulaire de l'information, *Congrès de Biol. Théorique*, Saint-Flour, 1994.