

Séance publique du 2 mars 2020

La Communication dans le vivant

Joël BOCKAERT

Professeur émérite à l'Université de Montpellier.
Académie des Sciences (Paris)
Académie des Sciences et des Lettres de Montpellier

MOTS CLES

Communication, Système de détection du quorum, phéromones, hormones, neurotransmetteurs, cerveau, langage, regard, neurones miroirs, théorie de l'esprit, internet, Descartes

RESUME

Que la communication ait pour support les phéromones, le chant des oiseaux, les hormones et les neurotransmetteurs, l'expression du visage, le langage articulé propre à l'homme, les neurones miroirs, internet ou bien d'autres, elle est indispensable à la vie et à son évolution aussi bien chez la bactérie que chez Homo sapiens. Ne faudrait-il pas remplacer le cogito de Descartes « je pense donc je suis » (peut-on penser seul ?) par un plus modeste « je communique donc je suis » ? C'est cette composante primordiale du vivant où le cerveau tient une place centrale qui fait l'objet de cette communication...

Si on vous demandait quelle technologie a le plus bouleversé votre mode de vie durant les 25 dernières années, vous répondriez sans hésitation : les technologies de la communication et en particulier internet et le téléphone portable.

L'internet grand public ne date que des années 1990 et plus de 5 milliards d'humains dont vous- mêmes y sont connectés.

D'où vient ce besoin d'être en permanence en communication avec ses semblables, de se sentir membre de ce vaste réseau d'humanité, avec la crainte de s'en sentir exclu, voire « excommunié » ? Est-ce une forme d'« épouillage » planétaire qui rassure et réduit l'anxiété que l'homme éprouve devant sa solitude ?



Si *Homo sapiens* a assimilé ces nouvelles techniques aussi rapidement et avec une telle avidité, c'est qu'il y trouve un plaisir particulier, une récompense émotionnelle.

La communication donnant un avantage sélectif aux espèces, des formes de plus en plus sophistiquées de communication sont apparues. Elles sont vitales chez les espèces sociales, fourmis, abeilles, primates et hommes. Le fait d'y prendre du plaisir n'a fait qu'accélérer cette évolution.

Mais, tout plaisir que l'on peut renouveler immédiatement, sur simple commande, et de façon illimitée, risque de devenir addictif. De fait, la déconnection du téléphone portable provoque un syndrome de sevrage très mal vécu par les « addictophones » : la « nomophobie » (de *no mobile phobia*). Les symptômes sont simples : souffrance de ne pas avoir son téléphone portable à portée de main, anxiété, panique.

Les communications au sein du vivant ne se limitent pas aux communications entre individus. Elles jouent aussi un rôle majeur pour assurer un fonctionnement harmonieux et coopératif de l'ensemble des cellules des organismes multicellulaires. À l'évidence, l'évolution de ces êtres multicellulaires a été étroitement liée à la capacité, qu'ont acquise leurs cellules, à communiquer entre elles.

Apparition des communications interindividuelles chez les bactéries

Quand cette nécessité de communiquer est-elle apparue dans le monde vivant ? On a récemment découvert que les bactéries communiquent et coopèrent.

Tout commence avec les travaux de Bonnie Bassler (Université de Princeton) sur le petit calamar hawaïen *Euprymna scolopes* vivant dans les eaux peu profondes des lagons [1]. Son problème est « son ombre » en raison de l'éclairage de la lune lorsqu'il chasse la nuit. Pour la supprimer, il a une poche ventrale remplie de bactéries nommées *Vibrio fischeri*. Que fait cette bactérie ? Elle émet de la lumière. Comment *Vibrio fischeri* produit-elle de la lumière ? Grâce à une molécule, la "luciférase". Lorsque la concentration de *Vibrio fischeri* est faible, le gène responsable de la synthèse de la luciférase est inactif. *Vibrio fischeri* produit en permanence, dans son environnement, un message chimique : une acyl-homosérine lactone (AHL). Lorsque la densité des bactéries augmente, l'AHL s'accumule pour atteindre une concentration suffisamment élevée lui permettant de se fixer sur son récepteur, appelé LuxR. Le complexe AHL-LuxR active alors le gène contrôlant la synthèse de luciférase. Ce système a été appelé Quorum sensing, ou système de détection du quorum.

Le système de détection du quorum de *Vibrio fischeri* a été le point de départ de nombreuses études sur la communication et la coopération entre bactéries. Ce mécanisme de communication était totalement inconnu avant les années 1970. Depuis, on a découvert de nombreuses fonctions bactériennes nécessitant communication et coopération. *Staphylococcus aureus* (le staphylocoque doré) est une bactérie présente chez 15 à 30% des individus sains, dits "porteurs sains". Elle peut se développer dans des aliments contaminés, notamment des viandes hachées mal préparées ou mal réfrigérées. Elle peut aussi se développer rapidement en cas de blessure cutanée, provoquant impétigo, furoncle ou panaris. Chez des patients affaiblis, elle peut être mortelle par pneumonie ou septicémie. Les infections à staphylocoque doré sont une cause majeure d'hospitalisation. Le système de détection du quorum du staphylocoque doré est basé sur le même principe général que celui de *Vibrio fischeri*. La molécule de communication est ici un peptide appelé « auto inducteurs peptides » (AIP). Lorsque la concentration de staphylocoque est importante, la concentration de AIP est suffisante pour activer un récepteur. Le complexe AIP-récepteur contrôle alors la synthèse de toxines et autres facteurs de virulence. Les toxines et facteurs de virulence ne sont donc

produits que lorsqu'il y a une concentration suffisante de staphylocoque doré. On n'attaque que si on est assez nombreux.

ICI encore la communication est liée à la coopération.

Les Phéromones, hormones, neurotransmetteurs

Phéromones

Les êtres vivants, qu'ils soient unicellulaires comme les levures, ou multicellulaires comme les insectes, les vertébrés, les mammifères, à l'exception notable de l'homme, ont la capacité de reconnaître le statut sexuel, hormonal et social de leurs congénères de la même espèce. Pour cela, ils émettent des substances chimiques que l'on appelle des phéromones.

Les phéromones émises sont spécifiquement détectées, soit par l'ensemble des congénères, soit par les seuls partenaires sexuels, tous de la même espèce. Les phéromones assurent donc une communication intra-espèce. Elles déclenchent des comportements ou des régulations hormonales innées et automatiques, sans que le sujet qui reçoit la phéromone en soit conscient ou puisse les modifier à sa convenance.

Chez les vertébrés, les récepteurs des phéromones sont localisés dans un organe particulier des fosses nasales, l'organe vomero-nasal. Chez l'homme, cet organe est vestigial et non fonctionnel. Chez les insectes, les récepteurs des phéromones sont dans les antennes. C'est l'étude des comportements sociaux des insectes qui a révélé l'importance des phéromones. Nous ne donnerons ici que quelques exemples. Jean-Henri Fabre, le génial entomologiste du Midi a révélé le rôle des phéromones sexuelles du Grand Paon de nuit. Ce papillon ne vit que quelques jours sans s'alimenter. Il a juste le temps de convoler et de se reproduire. Voyant des mâles arriver pour féconder les femelles apparemment de très loin J. H. Fabre réalise les deux expériences suivantes. Dans la première il enferme une femelle sous une cloche métallique aux fines mailles, et voit, le soir venu, une dizaine de mâles tourner autour de la cloche. Dans la deuxième, il met une femelle dans une cloche hermétique, et aucun mâle ne se présente ! Est-ce une communication chimique ? « Des effluves subtiles, peut-être même une odeur émise par la femelle attirent-elle les mâles ? » se demande Fabre. Cependant, comment expliquer une telle attraction, même un soir de mistral ? En effet, les mâles arrivent du nord... Il écrit :

« S'ils avaient pour boussole une olfaction analogue à la nôtre, s'ils étaient guidés par des atomes odorants dissouts dans l'air, c'est en sens inverse que devrait se faire leur arrivée. Venus du midi, on pourrait les croire informés par les effluves que le vent entraîne ; venus du nord, par ce temps de mistral, souverain balayeur de l'atmosphère, comment supposer qu'ils ont perçu à grande distance ce que nous appelons une odeur ? Ce reflux des molécules odoriférantes, à contresens du torrent aérien, me semble inadmissible ».

Souvenirs entomologiques, Jean-Henri Fabre

Inadmissible certes, mais vrai ! Ces « effluves subtiles », on le sait aujourd'hui, sont les phéromones caractéristiques de chaque espèce de papillon. Elles peuvent attirer des mâles dans un rayon de 10 kilomètres. Quelques molécules suffisent à les guider !

On pourrait citer des centaines de comportements animaux induits par les phéromones. On en citera encore deux.



Le mâle du Grand Paon de nuit (en haut) a de grandes antennes qui contiennent les récepteurs aux phéromones sexuelles émises par la femelle (en bas).

Le premier concerne l'effet Bruce [2] : Hilda Margaret Bruce a observé que des femelles gestantes de souris (*Mus musculus*) avortent si on les met en présence d'un mâle avec lequel elles n'ont pas copulé, ou en présence de ses urines. Cet effet a été largement confirmé chez les rongeurs et a même été décrit chez le cheval. Récemment, une équipe américaine a décrit un "effet Bruce" chez le babouin à l'état sauvage. Quel peut-être l'avantage sélectif de ces avortements ? On peut en proposer deux. Le premier est que les femelles épargnent l'énergie requise pour terminer une grossesse, puisque les nouveaux nés seront tués par le nouveau maître des lieux. Le deuxième est que ce dernier peut féconder plus rapidement les femelles et ainsi transmettre ses gènes.

Le deuxième exemple une phéromone (ESP22) contenue dans les larmes de souris impubères. C'est une phéromone protégeant les femelles juvéniles des assauts sexuels de mâles adultes [3].

Hormones

Les championnes de la communication chez les organismes pluricellulaires, ce sont les hormones. Aucune des fonctions physiologiques n'échappe à leur action régulatrice, pas même le cerveau qui est aussi sous leur contrôle.

Une hormone est un message de communication intercellulaire. Elle est sécrétée par des cellules souvent agrégées sous forme de glandes : thyroïde, ovaires, glandes surrénales, hypophyse. L'hormone agit sur des cellules de son environnement immédiat, mais peut aussi agir sur des cellules très éloignées. Elle est alors véhiculée par la circulation sanguine. Chaque hormone n'agit que sur un petit nombre de cellules, celles qui expriment les récepteurs qui la reconnaissent. Les cellules qui n'expriment pas ces récepteurs ne sont pas sensibles à l'hormone. Parfois, les cellules qui sécrètent le message hormonal sont des neurones. On nomme alors ces hormones des neuro-hormones.

Neurotransmetteurs

Les neurotransmetteurs sont les messagers chimiques assurant la communication entre les neurones au niveau des synapses (Contact entre deux neurones). Il y a 10^{15} synapses dans le cerveau humain et plusieurs dizaines de neurotransmetteurs. Chacun

des lecteurs en connaît quelques-uns (adrénaline, sérotonine, dopamine...), certains lui sont probablement inconnus par exemple le glutamate neurotransmetteur excitateur majeur du cerveau ou le Gaba, neurotransmetteur inhibiteur majeur.

Le lecteur est invité à se référer pour les hormones et les neurotransmetteurs à des ouvrages spécialisés ou au livre de l'auteur « *La Communication du vivant* » (Ed. Odile Jacob) [4].

Les communications physiques

Si les communications chimiques dominent, les communications physiques sont souvent très présentes.

Le champ magnétique joue un rôle important pour l'orientation des oiseaux migrateurs. Le pigeon possède de la magnétite au niveau du bec. Il possède aussi des cryptochromes dans l'œil. Les cryptochromes sont des protéines qui, sous l'influence de la lumière ultraviolette et bleue produisent des radicaux libres sensibles au champ magnétique. L'électricité est très utilisée pour communiquer, notamment chez les poissons à la recherche de leur repas favori ou d'un partenaire sexuel. La sensibilité est remarquable : le requin peut sentir l'électricité générée par la contraction des muscles d'un poisson nageant dans son voisinage, et même caché dans le sable.

La bioluminescence pour communiquer, notamment avec un partenaire sexuel, est d'un usage plus commun. La femelle du ver luisant européen, avec son lampion abdominal, reste sur le sol ou sur une brindille. Le mâle, avec ses yeux énormes, vole à la recherche de la « brillante » amante. Sitôt le contact établi, la belle éteint son phare.

Champ magnétique	Le champ magnétique guide l'orientation du pigeon	
Vibrations acoustiques : Sons Ultrasons	La cigale « cymbalise » La mésange « zinzinule » Le geai « cajole » L'alouette « grisolle »	 
Lumière	Ver luisant	

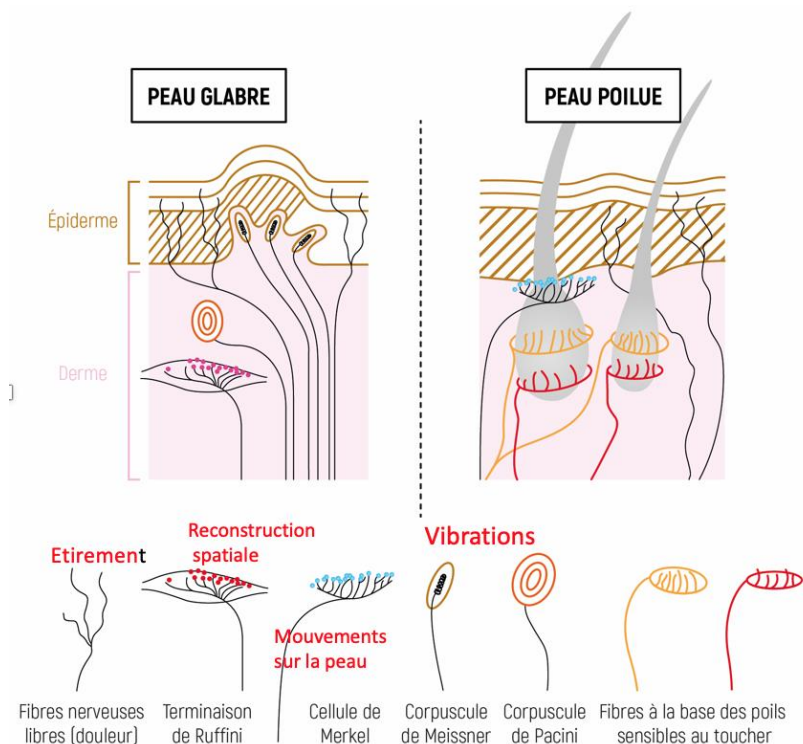
Quelques communications physiques

Tous les êtres vivants, des bactéries à l'homme, sont sensibles à des messages mécaniques provenant de l'environnement (Sons, vibrations, chant...) ou d'un congénère. C'est un type de communication qui est donc apparu très tôt au cours de l'évolution. Il a atteint un degré de sophistication élevé avec l'écholocalisation, l'ouïe ou le toucher. Le principe de base de la communication mécanique est la déformation ou l'étirement de protéines membranaires par une vibration, un son ou un contact. Ces

protéines sont des canaux ioniques qui génèrent des influx nerveux transmis au cerveau, ce qui produit une sensation.

Le toucher est essentiel pour explorer l'environnement et donc pour la survie, pour la préhension de la nourriture et des objets, pour la locomotion et la marche, pour la fabrication des objets et instruments, et pour les contacts sociaux, particulièrement les caresses et la sexualité.

Les notions de douceur, de tendresse, mais aussi d'agression lui sont liées. Ce qui est remarquable est que l'on peut instantanément reconnaître, uniquement par le sens tactile, des événements extrêmement variés : une goutte d'eau qui tombe sur la peau, un insecte qui s'y pose, le vent et un courant d'air, un pincement, une piqûre, un frôlement, une caresse, une chatouille, la forme et la texture d'un objet. Le sens tactile est le premier à se développer chez le fœtus. Dès la trentième semaine, il est totalement opérationnel. Il est indispensable pour le développement cognitif normal du bébé.



Le toucher

Jean-Paul Sartre a déclaré : « C'est par la peau que nous sommes devenus amants, car la caresse recrée l'être qu'elle caresse »

Communications sociales

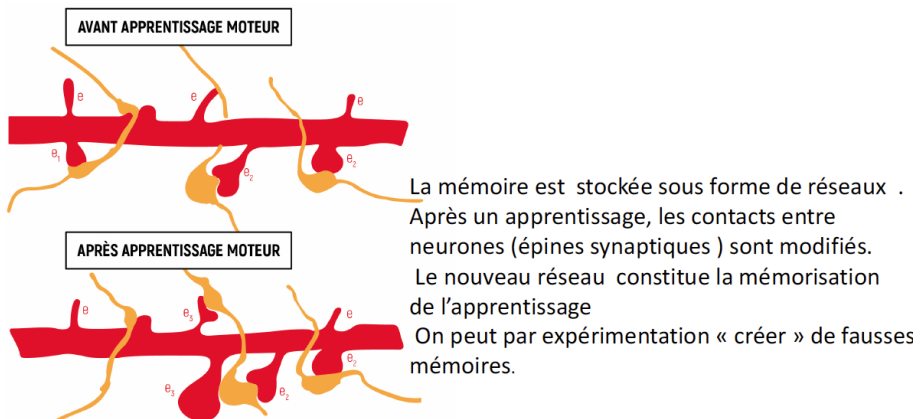
Le cerveau est l'organe de communication par excellence. Ce qui a de remarquable c'est que le cerveau se fabrique, surtout chez l'homme, par la communication avec ses semblables. Sans communication avec l'autre pas de cerveau performant. Les histoires

d'enfants sauvages comme Victor de l'Aveyron ou les enfants des orphelinats de Roumanie l'attestent.

Le cerveau, à la naissance, est un devenir... « L'homme ne devient homme que par l'éducation » (E. Kant).

De plus, cette fabrique du cerveau se fait en établissant des communications entre les neurones : des réseaux. Ainsi la formation de réseaux de neurones dénommés « engrammes » constituent la structure « physique » de la mémoire. La conscience ne serait qu'une mobilisation unifiée de ces réseaux.

Lors d'une conférence à la Royal Society de Londres en 1894, Ramon y Cajal le célèbre neurobiologiste déclara : "La mémoire, c'est la capacité des neurones à croître et à créer de nouvelles connections". Cette hypothèse est toujours d'actualité. L'apprentissage est donc la capacité à établir de nouvelles communications ou à accroître celles qui existent au sein de réseaux spécialisés. La mémoire est alors la capacité à stabiliser ces communications, à les consolider, à les stocker, afin de les mobiliser ultérieurement. Les modifications des communications entre neurones, au niveau de réseaux de synapses, qui se produisent au cours de l'apprentissage, furent appelées « plasticité synaptique » .



Ces réseaux de mémoire sont appelés « engramme » . Mais possède-t-on assez de synapses pour stocker chacun de nos souvenirs sous forme d'un réseau de synapses particulier ? La réponse est probablement « oui » . On a du mal à concevoir le nombre de réseaux synaptiques que l'on peut former dans notre cerveau. Une idée peut-être : il y a autant de combinaisons possibles entre le million de milliards de synapses dans notre cerveau que de particules positives dans tout l'univers !!!

On peut aujourd'hui repérer (marquer chimiquement) ces engrammes au moment de la formation d'une mémoire. Par exemple, lorsqu'une souris est placée dans un contexte spatial A et qu'elle reçoit un petit choc électrique, elle a peur. La mémoire de cet événement (mémoire de peur) est très robuste. Si on met à nouveau la souris dans le contexte spatial A, elle va avoir peur, s'immobiliser, se figer, sans qu'on soit obligé de mettre en place de choc électrique. On peut, quelques jours après, stimuler électriquement l'ensemble de l'engramme formé au moment de la peur initiale. La souris aura alors peur, et va se figer. On a artificiellement recréé le souvenir de cet événement désagréable en stimulant l'engramme.

Homo sapiens est doté de remarquables capacités biologiques de communication, grâce à un cerveau capable de penser l'autre (Théorie de l'esprit) lui permettant une

communication sociale d'une extrême richesse et finesse. Les grands singes en sont capables mais beaucoup moins.

Le langage a été un accélérateur déterminant de la communication humaine. Seul, l'homme est capable de langage complexe qui permet de raconter des événements, des histoires, de les situer dans le temps, de créer des mythes et des règles sociales. Il permet aussi de planifier plus facilement des actions collectives et de coopérer, de partager des mythes, des religions, des projets politiques. La coopération est certainement, plus que l'affrontement et la violence, un facteur positif d'évolution.

Le gène FOXP2 est important pour le langage. Muté, il est responsable de graves troubles de langage. Deux modifications de ce gène sont apparues, dans la lignée humaine, après sa séparation avec celle des grands singes (chimpanzés, bonobos) il y a 5-10 millions d'années. Il est probablement un des gènes clés (mais pas le seul) qui permet à l'homme, mais pas aux grands singes, de parler.

Chez l'homme, le langage se décline sous plusieurs formes. Il peut être vocal mais aussi gestuel. L'hypothèse motrice de la parole a été renforcée par la découverte des réseaux de neurones miroirs par Rizzolatti [5]. Les neurones miroirs sont activés chez le sujet acteur lorsqu'il fait, par exemple, le geste d'attraper, mais aussi chez le sujet spectateur, qui voit l'acteur faire ce geste, sans bouger lui-même. Tout se passe comme si les neurones du spectateur mimaient « en pensée » les neurones de l'acteur (un wi-fi inconscient de communication inter-cerveaux). Chez l'homme, mais pas chez le singe, il existe un système complexe de neurones miroirs qui inclut des neurones de l'aire de Broca. Ils s'activent lorsqu'on observe un autre homme (mais pas un singe ou un chien) faire des mouvements de bouche ou parler. L'idée que le langage humain a évolué à partir des gestes plutôt qu'à partir de vocalisations est généralement attribuée au philosophe du XVIII^{ème} siècle Condillac. Les enfants sourds et muets qui apprennent le langage des gestes progressent aussi vite dans leurs apprentissages et leurs communications interpersonnelles que ceux qui parlent.

Outre le langage, beaucoup de communications non verbales sont importantes : le regard (qui en dit long...), le rire, le toucher. Ils sont des moyens de communication essentiels au développement de l'enfant.

L'homme qui rencontre un homme, ce sont ses yeux qui cherchent d'abord et, ce qu'ils cherchent ce sont les yeux de l'autre.

La Mort de près, Maurice Genevoix

Le dessinateur de Charlie hebdo, Cabu, dessinait toujours les yeux en premier.

Le regard peut être : accueillant, appuyé, apaisé, approbateur, amusé, amical, attendri, attendrissant, accusateur, apeuré, ahuri, abattu, bienveillant, bovin, blasé, chosifiant, cruel, courroucé, conquérant, chaloupé, candide, complice, coupable, concupiscent, compatissant, condescendant, clair, clinique, dur, désespéré, dédaigneux, doux, ému, énamouré, envoutant, éteint, espiègle, étonné, effronté, hébété, en, coin, égrillard, énigmatique, fixe, furtif, franc, fatigué, fiévreux, fuyant, froid, fermé, grave, glacial, hautain, hostile, hagard, halluciné, impitoyable, innocent, inquisiteur, interrogateur, insoutenable, implorant, insistant, indulgent, joyeux, langoureux, las, mauvais, mélancolique, morne, moqueur, méprisant, malicieux, noir, perçant, pétrifié, pétillant, perdu, séducteur, suppliant, satisfait, sournois, soucieux, sévère, sombre, tendre, triste, timide, tremblant, troublant, terne, vengeur, vague, vide.

Le regard

L'imitation, notamment dû aux « neurones miroirs », est extraordinaire chez l'homme dès la naissance.

Pathologies de la communication

Notre thèse, on le rappelle, est que la communication sociale procure du plaisir notamment à l'homme, animal social par excellence. On a pu montrer une activation des systèmes de plaisir (neurons à dopamine) lors de communications sociales. L'isolement social conduit à de graves pathologies, chez l'homme, mais aussi chez de nombreuses espèces. C'est la pire des tortures chez l'homme qui peut en devenir fou. Le Robinson de Michel Tournier, dans *Vendredi ou les limbes du pacifique*, devient fou. Il a des hallucinations et perd son identité, il est atteint de schizophrénie. L'autisme est une grave pathologie due à une difficulté de communication. Le joueur d'Échecs de Stefan Zweig échappe à la folie de l'isolement carcéral en jouant des parties d'échecs contre lui-même.

Hypercommunication

L'homme n'a eu de cesse d'inventer de nouveaux moyens de communication. Pendant des millénaires, les progrès ont été lents, écriture, imprimerie, télégraphie, téléphonie, radio, télévision, fax. Depuis moins de 50 ans, l'avènement du Web a démultiplié les moyens de communication : moteurs de recherche, mails, réseaux sociaux, applications en tous genre. Le réseau Internet permet maintenant en moins d'une seconde d'accéder aux contenus de millions d'ordinateurs répartis dans le monde entier.

C'est un instrument extraordinaire pour certains (qui ont déjà des connaissances structurées), un danger pour beaucoup qui se font facilement manipuler par des contenus faux (fake-news) ou idéologiques.

Le risque de dépendance aux communications, via le smartphone et Internet, est évident. Cette addiction s'appuie sur le plaisir inné que ressent *Homo sapiens* lorsqu'il entre en communication avec ses semblables et lorsqu'il joue (la croissance mondiale des jeux vidéo a été de 40% au niveau mondial entre 2012 et 2015), mais aussi lorsqu'il apprend et comprend.

Le temps passé à ces communications, souvent peu gratifiantes, est un frein à d'autres activités.

Un autre danger est la surexposition de sa vie personnelle, de son intimité y compris sexuelles.

L'appréciation, l'avis de ceux avec qui on est connecté devient un élément clé de son identité. Si elle disparaît ou est négative (insultes, dénigrements, moqueries), on n'existe plus (on est excommunié), et certains vont jusqu'à se suicider.

Faudrait-il remplacer le « Je pense donc je suis » de Descartes par un « Je communique donc je suis » ?

Il n'y pas de pensée sans les autres et leur société. La pensée solitaire ne permet certainement pas l'accès à la conscience de soi.

C'est la présence d'autrui et notre communication avec lui, sous toutes les formes, qui fonde notre existence. Ne faut-il pas alors substituer un : « Je communique donc je suis » au « Je pense donc je suis » de Descartes ?

RÉFÉRENCES

- [1] Waters, C. M. & Bassler, B. L. Quorum sensing : cell-to-cell communication in bacteria. *Annu Rev Cell Dev Biol* **21**, 319-346

- [2] Parkes, A. S. & Bruce, H. M. Olfactory stimuli in mammalian reproduction. *Science* **134**, 1049-1054 (1961)
- [3] Ferrero, D. M. *et al.* A juvenile mouse pheromone inhibits sexual behaviour through the vomeronasal system. *Nature* **502**, 368-371
- [4] Bockaert, J. La communication du vivant Ed. Odile Jacob
- [5] Rizzolatti, G. *Les neurones miroirs*. (Odile Jacob, 2008)