



**HAL**  
open science

# LA FABRICATION DES SIGNAUX

Bernard Couty

► **To cite this version:**

| Bernard Couty. LA FABRICATION DES SIGNAUX. 2018. hal-01735798

**HAL Id: hal-01735798**

**<https://hal.science/hal-01735798>**

Preprint submitted on 16 Mar 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## LA FABRICATION DES SIGNAUX

**Résumé :** Ce premier essai brut d'une série de trois se consacre à définir ce qu'il convient d'appeler « signal », c'est-à-dire le résultat d'un processus de traitement technique d'un phénomène (naturel ou fabriqué).

**Mots-clés :** analogon, discret, discrétisation, Ergologie, Gestaltung, information, phénomène, représentation, signal, signaux,

**Auteur :** Bernard Couty, MCF 71<sup>e</sup> section (retraité)

Chercheur associé au LiRIS, EA 7481, Université de Rennes 2

## LE “NUMÉRIQUE”

La série de « causeries » comprend trois documents séparés :

- La fabrication des signaux.pdf (le présent document)
- Exemples de traitements numériques.pdf principalement consacré aux techniques de traitement de l'image, mais abordant également la protection de la validité des signaux transmis.
- Dispositifs digitaux.pdf où l'on aborde en détail l'analyse technique des dispositifs numériques.

Le but de ces « causeries » est de procurer des connaissances basiques pouvant être utiles aux ergologues qui oseraient étudier le champ des technologies numériques, et éventuellement inciter des ingénieurs à s'intéresser à l'ergologie, étude de la rationalité technique.

Le public visé se partageant entre sciences humaines et « sciences de l'ingénieur », l'entreprise est difficile : comment exposer de façon suffisamment claire des principes et manipulations techniques sans tomber dans la vulgarisation superficielle ? Il est à craindre deux reproches : l'ésotérisme, c'est-à-dire un exposé accessible seulement à des initiés, et la simplification abusive, qui introduit invariablement des inexactitudes scandaleuses aux yeux du spécialiste.

En outre, l'auteur de ce travail, bien qu'ayant reçu quelque savoir en matière d'ergologie, n'est pas ergologue : ceci ne sera pas, par conséquent, un traité d'ergologie appliquée. Néanmoins, il s'autorisera de loin en loin quelques réflexions épistémologiques, qui ne seront pas toujours très pertinentes, mais qui pourront servir de jalons à une étude plus scientifique.

Enfin, les trois documents n'étaient pas destinés, originellement, à publication. Aussi rencontrera-t-on un style et des remarques « bruts de décoffrage ». J'ai préféré conserver ce style qui suit mieux le cheminement d'une pensée récapitulant un savoir.

### **Première causerie :**

#### **COMMENT FABRIQUE-T-ON DU SIGNAL ?**

*Où l'on s'efforce à préciser ce que l'on entend par « signal »*

J'avais dans un article très ancien (*Tétralogiques* N° 14, « Un autre regard sur l'ordinateur ») proposé l'idée que l'ordinateur est *sémaopracteur*, c'est-à-dire processeur de signaux numériques. C'est dire que les techniques « numériques » sont essentiellement des techniques d'acquisition, de traitement, de transmission des signaux numériques.

## 1. Il n'est de signaux que par et pour nous.

*(Les signaux sont techniquement forgés)*

La Gestaltung est la manière naturelle propre à chaque Espèce d'appréhender « le monde », ou « le réel ». Nous savons que cet embryon d'analyse ne produit pas les mêmes résultats : si le Chat voit l'infrarouge, l'Abeille voit l'ultra-violet. Chacune de ces deux Espèces se moque bien de « l'infrarouge » et respectivement de « l'ultra-violet », comme le Chien et la Chauve-souris n'ont cure de « l'ultra-son » : ce qui importe à leur survie est le fait que le monde soit appréhendé de telle manière qu'elle soit sinon assurée, du moins aidée.

J'entends par là qu'il n'y a « d'infra-rouge », « d'ultra-violet », d'« infra-son » ou d'« ultra-son » que pour nous, car notre capacité de langage les fait exister en concepts. Tout cela est connu des Médiationnistes. Nous ne connaissons « le réel » que de deux manières : naturelle (Gestaltung) et culturelle (ici, quatre rationalités). Cela ne prouve pas du tout que ce « réel » figurant en-deçà des filtres de la nature et de la culture soit un chaos amorphe : il s'y passe des phénomènes perceptibles et (peut-être) une organisation traquée asymptotiquement par nos sciences. Sans Soleil, pas de lumière. Sans lumière et sans quelques autres ingrédients, pas de vie. Et ainsi de suite. Mais nous projetons l'ordre de notre logique sur ce monde : harmonie des sphères, nombre d'or,  $\pi$ , gravitation universelle, relativité, incertitude quantique etc...

Du monde, donc, nous recevons des phénomènes. Et certains d'entre eux, les rayonnements, **deviennent par** nous des signaux. Dans le cadre de cette réflexion il est indispensable d'en (re)formuler le concept. Jean Gagnepain : « *Par signal (...) j'entends ce que cet investissement particulier de l'outil (...) comporte de forgé, non de conventionnel.* ». Plus loin : « *Ce qui fait le signal ce qu'il est, ce n'est point le consensus, mais le rapport qu'en tant que reproduction il entretient à l'objet, le symbole ou le signe indiqués et qui est, ergologiquement, du même ordre que celui de la chaussure aux pieds ou de la fourchette à la main.* » (DVD I, « De l'Outil », 187<sup>1</sup>). Retenons ceci : le signal est forgé et il entretient un certain rapport à l'objet. Gagnepain nous situe donc le signal dans la catégorie des **industries déictiques**. Est-ce si loin de ce que disent les physiciens du signal ? Écartons pour le moment la « définition » proposée par Wikipédia : « *Un signal est un message codé de façon à pouvoir être communiqué à distance.* » Définition trop orientée, car elle suppose à la fois une sorte de finalisme (le melon aurait des côtes pour être découpé en famille), et un mélange de codage et de « communication » (vue à la manière des IUT d'info-com !). Ne nous attardons pas là-dessus : le signal n'est pas son utilisation consensuelle. Mais je reviendrai là-dessus plus bas

---

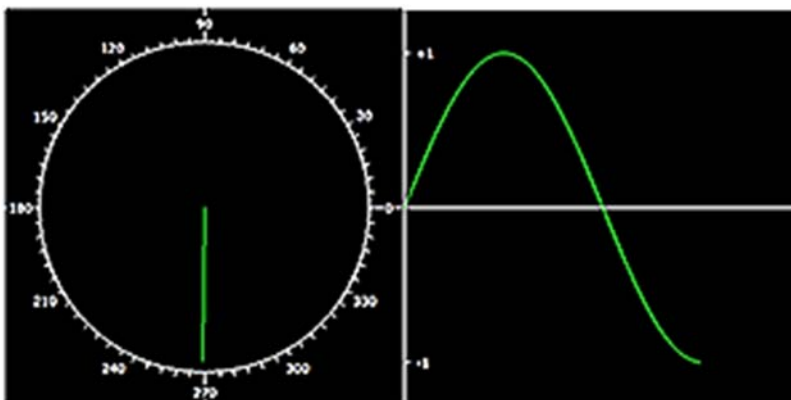
<sup>1</sup> DVD I, Livre & Communication, 1990, p 187.

Plus précisément, disent les physiciens, « On appelle signal le phénomène physique, porteur d'une information dans un milieu, dont la valeur des différentes caractéristiques est susceptible d'être mesurée.

Généralement dans les métiers de l'Electronique, on désigne par signal, **la représentation temporelle** graphique ou visuelle d'une grandeur physique en fonction du temps.<sup>2</sup> Cette définition en vaut d'autres, mais elle a l'avantage d'attirer notre attention sur plusieurs points :

- a) C'est un phénomène originellement physique. En fait, il est caractéristique de « ce qui est émis » lors d'un changement d'état. Parlons, dans ce cas, de *rayonnement*. Conceptuellement, on désigne par « système » la représentation logique de ce qui change d'état.
- b) Il est porteur d'une « information ». Toutefois, il ne faut pas confondre l'information des physiciens (= quels renseignements peut-on tirer du phénomène, voir par exemple la notion statistique d'entropie en thermodynamique) avec l'information (codage) faisant appel à des conventions (on retrouve ici la récusation du *consensus*).<sup>3</sup>
- c) Ce phénomène est mesurable. Voici un point fondamental : en fait, son existence cognitive dépend des artifices (*artefacts*) dont nous disposons pour le mesurer. Nous sommes donc bien au plan II. Et cette mesure nous renseigne (information).
- d) Il peut être représenté temporellement. Encore un point important qui le rapporte aux industries déictiques. Dans le cas des signaux électriques et électromagnétiques qui nous intéressent ici, ce sont bien évidemment des images, des courbes tracées sur le papier ou sur l'écran d'un oscilloscope, par exemple. De la courbe on tire des informations : période, donc fréquence, amplitude, bruit et ainsi de suite.

**Le signal est donc produit**, au sens ergologique du terme, même si son origine



1- Signal fabriqué informatiquement

est « naturelle ». Bien sûr, il peut exister formellement, en logique : que l'on ouvre l'angle  $\theta$  que fait le vecteur de Fresnel sur le cercle trigonométrique avec l'axe horizontal des cosinus, on obtient une belle courbe sinusoïde. Voici un signal un peu trop parfait, sous forme d'image animée (le

<sup>2</sup> [http://sen.emc.free.fr/mj/tronc\\_com/les\\_signaux.pdf](http://sen.emc.free.fr/mj/tronc_com/les_signaux.pdf)

<sup>3</sup> Il est bien regrettable que, par un glissement métaphorique scientifiquement injustifiable, Shannon et ses épigones aient parlé d'entropie en matière d'information conventionnelle !

vecteur parcourt les  $360^\circ$  ( $2\pi$  radians) du cercle). Mais ne l'oublions pas : si formellement l'équation est  $A_m \sin(\omega t)$ , pour  $\omega = 2\pi * \text{Fréquence}$ , l'image est pilotée par cette équation au moyen d'une programmation (pro- : pour et gramma : la lettre ; le programme est une écriture pour...) qui elle-même pilote les « portes logiques » électroniques du processeur de l'ordinateur. Qu'on le veuille ou non, il y a bien fabrication : la technique, ici, inclut (exploite ?) le savoir (nous aurons à analyser leurs rapports), mais l'analyse technique n'en est pas pour autant altérée.

## 2. La forge du signal.

*(Quelques idées à développer ultérieurement)*

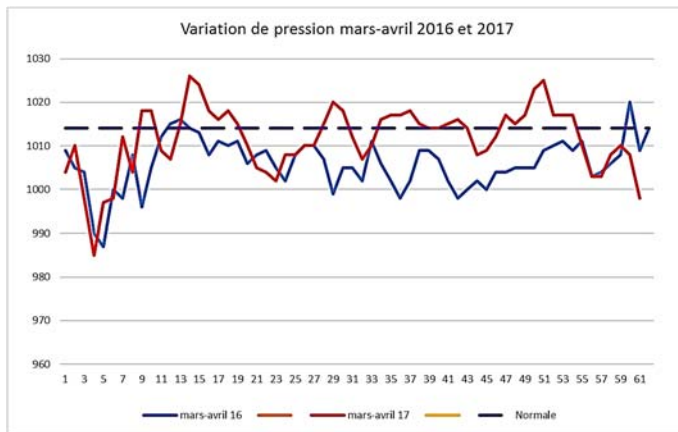
Les rayonnements venus du monde ne sont évidemment pas aussi parfaits, ils sont la plupart du temps composites et déformés par les « bruits », ces interférences continues entre les phénomènes du monde. Voilà qui implique d'autres opérations techniques de filtrage, j'y reviendrai. Forger un signal à partir d'un phénomène du monde nécessite assez généralement le recours à une autre catégorie performantielle : les **industries dynamiques**. C'est là encore une chose bien connue ; par exemple, dans le spectre continu des fréquences, nous ne percevons que celles dites « acoustiques » (de 16 Hz à 16 KHz), mais des microphones convenablement réglés permettent de ramener à notre échelle de sensibilité des infra-sons et des ultra-sons. Ce sont-là des exemples d'opérations convertissant des rayonnements vibratoires naturels en signaux fabriqués (artificiels), au moyen de dispositifs appelés « transducteurs ». Les exemples ne manquent pas, voir par exemple les lunettes permettant de « voir » l'infra-rouge etc...

À côté de ces exemples pris dans la Physique, il est aussi des signaux auxquels l'on ne pense pas. Regardons par exemple l'évolution du cours de l'or : on obtient un signal en reportant les moyennes mensuelles en ordonné en fonction d'abscisses temporelle. Et c'est là un procédé intéressant : un signal, pour continu qu'il soit, est *souvent* en réalité, par un procédé à la fois logique et industriel, discrétisé, de telle manière que l'on puisse comparer (donc



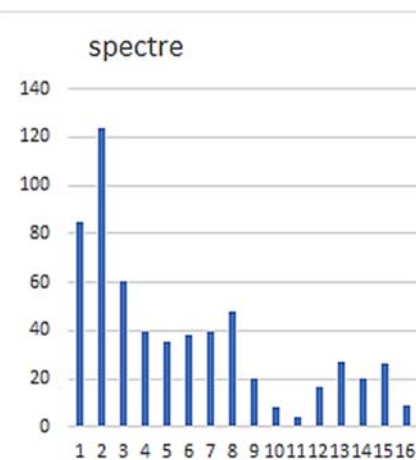
contraster ?) deux valeurs successives :  $y, y + \Delta y$ ,  $x, x + \Delta x$ . Considérons par exemple le graphe de l'évolution d'un phénomène météorologique. Je note chaque jour à 8h00

la pression relevée au baromètre anéroïde<sup>4</sup>. Il est évident que c'est déjà un échantillonnage – préalable à toute numérisation- puisque le phénomène est continu, de période très longue. Un barographe enregistreur donnerait une courbe plus continue... en fonction de la vitesse de déroulement de la bande de papier (ou, si l'on utilise un appareil numérique, de la fréquence d'échantillonnage). Il n'empêche qu'en reportant les valeurs, j'obtiens bien la courbe représentative d'un signal (ici deux).



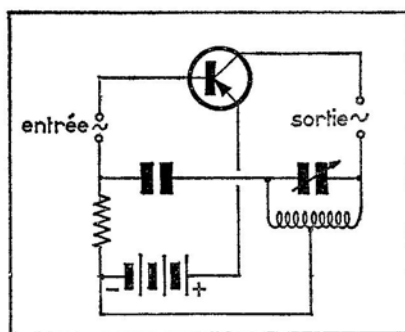
3- Courbes de pression mars-avril 2016 et 2017

Il est possible, ensuite, de lui faire subir des traitements mathématiques, par exemple une transformée de Fourier qui me permet de connaître son spectre de module :



4 spectre du signal météo

On peut ainsi reconstituer le signal par une transformée de Fourier inverse ou à partir du spectre. Je reviendrai en temps utile sur ces questions. Avant de tirer quelques conclusions (provisoires), je dis qu'il est facile techniquement parlant de fabriquer un rayonnement continu représentable sous forme d'onde électromagnétique pouvant rayonner dans l'espace. Par exemple en réalisant avec quelques composants faciles à trouver dans le commerce un oscillateur de Hartley. Simple fantaisie de bricoleur !

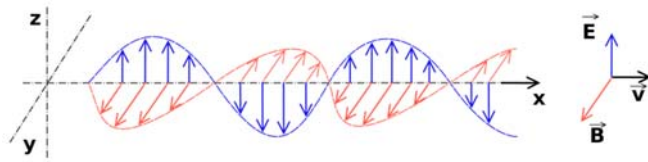


5 Oscillateur de Hartley

Il me semble clair qu'en parlant *ordinairement* de signal, on vise en fait deux choses distinctes en pourtant irrémédiablement appariées : d'une part un rayonnement physique, qu'il soit naturel ou fabriqué, comme par exemple le rayonnement photonique solaire ou une onde électromagnétique industriellement produite, d'autre part son *analogon*, sous forme mathématique (donc logique) et/ou iconique (courbe).

À propos de l'*analogon*, il intervient nécessairement un « lissage » du signal physique et une projection bi-dimensionnelle (en fait, c'est un rayonnement dans tout l'espace, comme une sphère pulsante envoyant des paquets d'ondes). Pour être plus précis,

<sup>4</sup> Les phénomènes météorologiques sont des signaux de période très longue.



6 Analogon d'une onde électromagnétique

l'analogon peut négliger une ou plusieurs composantes du signal physique. Par exemple : on sait qu'un signal électromagnétique a deux composantes, un champ électrique et un champ magnétique (la liaison

entre les deux est résolue par les équations de Maxwell) ; si l'on veut être précis, l'analogon iconique comprendrait deux courbes, les axes des ordonnées formant entre eux un angle de  $\pi/2$  rd ( $90^\circ$ ), comme indiqué sur la figure 6. En conséquence des équations de Maxwell, l'onde électro-magnétique peut n'être représentée que par la courbe d'un seul de ses champs (on choisit plus couramment le champ électrique), ce qui fait qu'au lieu de l'étudier selon trois dimensions, on écrit mathématiquement l'onde sous la forme de l'équation générale d'une onde dite « plane » de la forme  $\vec{E}(M, t) = \cos(\omega t - kx + \varphi) * E_0$ <sup>5</sup>

L'exemple précédent est un cas particulier : les équations de Maxwell permettent de travailler sur la composante de champ électrique, l'autre, magnétique, étant mathématiquement identique en fonction d'une transformation, l'opérateur rotationnel  $\overrightarrow{Rot}$ . Il n'est pas toujours possible de procéder ainsi.

Mais, comme nous le verrons avec la numérisation, le signal physique est lui-même nécessairement réduit par la technique ; il s'ensuit qu'une partie se perd. Ce reste peut être réduit, en augmentant la précision des dispositifs, mais de manière asymptotique. Le signal fabriqué suit donc les caractéristiques de l'objet (phénomène), mais de manière approchée.

## 2. Quantitatif et qualitatif.

*(Signaux modulés, signaux codés)*

Revenons à la définition du signal selon Wikipédia (« *Un signal est un message codé de façon à pouvoir être communiqué à distance* »). Sont visés uniquement les signaux produits industriellement, analogiques ou numériques. Le vocable « codé » renvoie aux théories de l'info-com (voir par exemple Jakobson<sup>6</sup> ou encore Moles<sup>7</sup>). En fait, tout signal fabriqué ne fait pas nécessairement appel à un répertoire et à une syntaxe. Pour

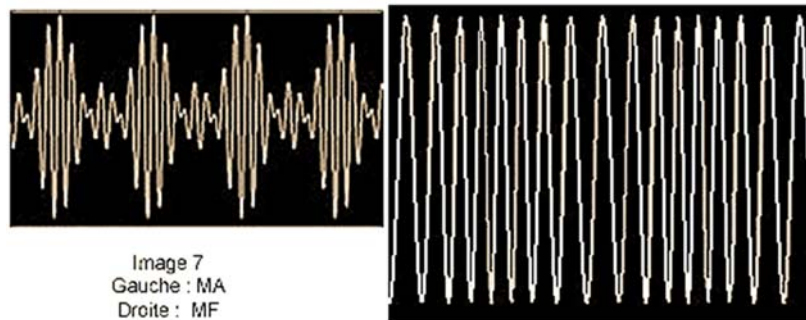
<sup>5</sup> C'est une équation de la forme générale des ondes sinusoïdales  $\cos(\omega t + \varphi)$ .

<sup>6</sup> R. Jakobson *Essais de Linguistique Générale*, tome 1, chapitre V, Éditions de Minuit, Paris, 1963.

<sup>7</sup> A Moles *Théorie Structurale de la Communication et Société*, chapitre 1.2, Masson, 1986



transmettre du son, par exemple, on a le choix entre une onde électromagnétique modulée en amplitude ou une onde électromagnétique modulé en fréquence :



Dans ces cas-là, le signal est composite : une haute fréquence (la porteuse) est modulée par une basse fréquence (la modulante) issue par exemple d'un micro. La modulante de basse fréquence sera ensuite extraite par l'appareil récepteur et le signal physique initial (voix, musique, image) sera restitué.

En revanche, la transmission d'une séquence de lettres comme « CODE » fait appel à une séquence d'octets (décimal : 67,79,68,69, soit en binaire 01000011, 01001111, 01001000, 01001001 selon l'ANSI), nous avons un signal digital (numérique). Mais le signal numérique ne pourra *rayonner* que s'il est porté par une onde électromagnétique de haute fréquence. Je parlerai des techniques mises en œuvre ad hoc dans une prochaine causerie.

Je veux tout de même faire remarquer que les signaux dont je viens de parler sont « in-formés », c'est-à-dire « mis en forme », mais qu'ils ne véhiculent pas matériellement d'information. Celle-ci se constitue par décomposition (technique dans le cas des machines connectées) du signal, opération faite par le récepteur. On peut le comprendre par analogie avec la phonation : on met l'air en vibration, mais ce n'est que par perception de ces vibrations et par leur analyse (signification-désignation, dans la TdM) qu'on en fait du message, donc que l'on crée de l'information. C'est la raison pour laquelle j'incline à considérer ces ondes comme des vecteurs (latin *vector*, conducteur). Elles conduisent d'un point à un autre les conditions, si l'on peut dire, de l'information, mais pas l'information elle-même. L'information est une opération dynamique *a posteriori*.

### 3. Qu'est-ce qui peut s'analyser ergologiquement ?

*(Essai naïf)*

Pour finir cette première promenade au jardin des signaux, on peut se demander : qu'est-ce qui peut s'analyser ergologiquement ?

Du côté du fabricant, qu'est-ce qui s'analyse abstraitement en matériau ? Un signal électromagnétique est, nous dit la Physique Quantique, une unité duelle onde/corpuscule. Admettons que pour réaliser l'émission d'une onde radio je mette en service des électrons. Je pourrais tout aussi bien (c'est une technique encore expérimentale) utiliser la composante « onde » en employant des nanostructures

appelées « nanotubes ». Mais tenons-nous en à l'électron. Au fond, avant même de connaître la physique quantique, on connaissait les équations de Maxwell sur l'électromagnétisme et l'on savait émettre des ondes radio. On savait depuis Ørsted qu'un courant électrique engendre un champ magnétique. Donc : l'électron. Mais l'analyse va négliger certains caractères de l'électron sur un critère d'utilité, de fin analysée. Car l'électron intervient dans les interactions gravitationnelle, faible, électromagnétique. Et encore dans le champ de cette dernière, il intervient dans la cohésion moléculaire, l'électricité, les ondes électromagnétiques. L'oscillateur de Hartley (image 5) utilise l'électricité pour polariser le transistor, mais on exploite aussi la charge électrique (négative) qui génère un champ électrique et un champ magnétique. La charge rend l'électron sensible aux variations de charge électrique du milieu : je puis donc le mettre en état d'excitation/désexcitation, en faisant s'inverser la polarité du milieu (circuit oscillant LC, soit bobinage et condensateur), et cette vibration engendre une onde électromagnétique par émission de photons.

L'analyse abstraite est exactement la même que celle que je ferais du cuivre pour fabriquer une trompette : ici la propriété de conduction (électrique, calorique) du cuivre ne m'intéresse pas, mais la ductilité et la conduction des vibrations acoustiques m'intéressent ; là, le spin de l'électron, ou sa propriété d'entrer dans des liaisons entre molécules, ne m'intéressent pas, mais la charge électrique, si. Si j'avais à travailler en RMN, au contraire, le spin d'une particule serait un trait utile.

Je simplifie à outrance, naturellement, et ce ne sont peut-être que des élucubrations. Par exemple : le cuivre de la trompette n'est pas du cuivre natif, il a été laminé en feuilles puis mis en forme adéquate. L'électron n'est pas débité géométriquement, mais on peut l'exciter. Alors ? Pour moi, la question mérite d'être examinée. À l'ergologue de trancher.

L'analyse ergologique, ici, demanderait un travail approfondi.