

# One theory can block another (The case of information)

*Didier Vaudène*

Maître de conférence honoraire en informatique  
Sorbonne Université

|                                                                       |   |
|-----------------------------------------------------------------------|---|
| One theory can block another (The case of information) .....          | 1 |
| Une théorie peut en bloquer une autre (Le cas de l'information) ..... | 4 |
| Bibliography – Bibliographie .....                                    | 7 |
| Short biography – Biographie abrégée .....                            | 7 |

## One theory can block another (The case of information)

1. The theme of this proposal is a study of the tension that arises between a theory and one of its conditions of possibility, when this theory conceals, masks, disregards, ignores, minimizes, etc., this condition of possibility that it implies and that it preserves all the more surely because it depends on it. This tension is not necessarily recognized as such, but it causes a “theoretical blockage”, comparable, in some respects, to Gaston Bachelard’s idea of an epistemological obstacle (1938). The blockage supports this theory only to the extent that the theoretical elaboration of the implications of this condition of possibility is partially or totally obstructed, and therefore remains in abeyance as *undone science*. The study will be conducted in an exemplary case concerning the science of (possibly automatic) information processing (Arsac, 1971) (*computer science*), namely what is tied up in the shifts in meaning and the various uses associated with the term “information”.

2. I am aware that Claude Shannon’s mathematical theory of communication (1948) proposes a concept of information, statistical and probabilistic, which quickly became dominant in its major features (Segal, 2003, 70), even if it gave rise to various variants as well as to approaches linked to algorithmic complexity. It is generally accepted that the phrase “information theory” refers to at least one theory of information, Shannon’s as a last resort when nothing is specified, so that in this respect, in the technical and scientific field, it is accepted that we know what “information” means from a theoretical point of view (especially since it is in this case a mathematical theory).

In the first paragraph of his 1948 article, Shannon makes explicit reference to the articles of Nyquist (1924) and Hartley (1928) where a notion called “intelligence” (in English, that is to say : *renseignement* in French) is introduced by Nyquist, and “information” by Hartley :

A basis for such a theory [of communication] is contained in the important papers of Nyquist and Hartley on this subject. In the present paper we will extend the theory to include a number of new factors, in particular the effect of noise in the channel, and the savings possible due to the statistical structure of the original message and due to the nature of the final destination of the information.

The contribution of Shannon’s theory is undeniable. But a bizarre situation ensues insofar as non-probabilistic pre-shannonian information (information in Hartley’s sense) has taken on considerable importance since it has become information in the computer scientist’s sense, a fundamental concept that also depends neither on statistics nor on probabilities.

3. It is clear that each of the two approaches to “information” has its own relevance and that it is not appropriate to decide in favor of one to the detriment of the other. Are these two notions independent of each other ? Can we find any trace of this problem in Shannon’s presentation ? In the second paragraph of his article, after emphasizing that semantic aspects are not addressed, Shannon writes :

The significant aspect is that the actual message is one *selected from a set* of possible messages.

This is a set-theoretic way of formulating the principle of non-probabilistic information, a principle that can be synthesized in the formula “1 among *n*”. Shortly after, in the 3rd paragraph, Shannon specifies :

If the number of messages in the set is finite then this number or any monotonic function of this number can be regarded as a measure of the information produced when one message is chosen from the set, all choices being equally likely.

If we mentally erase the uniform distribution clause (*all choices being equally likely*), we obtain a quantity of non-probabilistic information (pre-shannonian, in Hartley's sense and in the computer scientist's sense) ; but if we maintain the uniform distribution clause, we obtain a quantity of probabilistic information (in Shannon's sense). The shift is obvious here : choosing a message from a catalog of messages is not the same thing as choosing a message from a corpus of occurrences, composed with messages from this catalog, and to which we would have associated a statistical or a probability distribution.

4. Under the guise of a numerical coincidence, identifying (and thus reducing) a quantity of non-probabilistic information to the particular case of a quantity of probabilistic information associated with a uniform distribution is at best only an expedient, which is not admissible either conceptually or theoretically. The fact that I have three apples in one bag and three oranges in another certainly does not allow me to assert that apples and oranges are the same thing ! Correlatively, it is incorrect to maintain that Hartley's (and the computer scientist's) non-probabilistic information would ultimately be only a restricted and archaic particular case of Shannon's probabilistic information. In this regard, one cannot analyze the relationship between pre-shannonian information and shannonian information as an extension that would have encompassed pre-shannonian information, nor according to the schema of a surpassing by reinterpretation *à la Einstein* in which the surpassed theory "survives as a limiting case" (Einstein, 1917, 106) in the surpassing theory (Vaudène, 2024).

5. However, Shannon's article is too precise, too rigorous, and too finely crafted in its writing for us to stick to the idea of an unacceptable expedient. It is therefore appropriate to turn to another hypothesis of interpretation. There would indeed be a "difficulty", but the shift that betrays it would already be a way of forcing the passage and circumventing it without having confronted it, thematized it, or resolved it. It would then be necessary to understand that something remained blocked for Shannon at the very point where he opened and unfolded his theory, while the shift would have allowed him to move on. As I said (§3), it is out of the question to decide between the two determinations of "information", to choose one to the detriment of the other, while their relationship is not that the second (probabilistic information) is an extension of the first (non-probabilistic information).

6. In my opinion, it must be understood that the notion of information introduced by Nyquist and Hartley is already a double notion, in the sense that two determinations of "information" are already knotted and merged, wrapped in what appears to be, on the surface, only a single notion. Therefore, the blockage is resolved when we provoke the "fission" of this notion in such a way as to dissociate the two determinations that it articulates while simultaneously conflating them, namely : (1) a non-probabilistic determination of "information" acting as an invariant (I will return to this), and (2) a statistical and probabilistic determination of "information" involved in optimizations, representations, encodings, encryptions, compressions, noise resistance, etc. Once these two determinations are dissociated, we can then clearly understand that Shannon's theory has indeed carried out an extension, but that it only applies to the second determination, not thematized as such (and therefore left in its embryonic state) by Nyquist and Hartley.

7. How can we understand information as an invariant ? Consider the example of an alphabet of 256 characters. Choosing a character from this alphabet, whatever the character, determines a quantity of information "1 among 256" (8 bits, if you prefer). This quantity of information acts as an invariant that characterizes the closure of the domain of choices (256 elements) and that applies to any character-whatever it may be-of this alphabet : it is the non-probabilistic information (first determination) of Hartley and the computer scientist. I now consider a corpus of texts, composed using this alphabet in a given language, for which I know the probability of occurrence of each character of the alphabet. Knowledge of these probabilities allows me, for example, to reduce the size of the texts by choosing, for each character of the alphabet, a coding that is shorter the more frequent the character is (Shannon's probabilistic information, second determination). The invariant does not consist in the fact that a character of the alphabet is always associated with the same amount of information in its encodings, representations, etc., but that each encoding system, representation, etc., chosen for the characters of this alphabet always allows me, without ambiguity, to distinguish 256 codes.

8. I now consider reversible transformations, for example, a lossless compression, storage, and decompression cycle using a zip compressor. If I submit a file F to this compressor, I expect it to return the same file after a complete cycle, which requires, at a minimum, that the amount of information associated with the file (non-probabilistic information, first determination) be the same at the input and output of a complete cycle. But I obviously hope that, at the end of the compression, the resulting compressed file C will be smaller (information

related to probabilities, second determination) than the original file F, although this causes no loss in the sense that applying decompression to this compressed file C must return the original file F. It will therefore be understood that the non-probabilistic information (first determination) acts as a transformation invariant with respect to a network of reversible transformations.

9. The heart of the theoretical blockage is now reached. As soon as we believe in an exclusively probabilistic essence of information (second determination), we must correlatively ensure that we erase any apparent trace of a non-probabilistic determination of this same information (first determination) so as to avoid explicitly supporting a contradictory notion of information. But it is only a matter of erasing the apparent traces – and not of excluding it – because the first (non-probabilistic) determination, insofar as it acts as a transformation invariant, is required for it to be possible for the second determination to make sense and be applicable (this remark also applies to the case of information linked to algorithmic complexity).

It is therefore not surprising that, in Shannon's article, everything concerning the first determination (non-probabilistic : information in the sense of Hartley and the computer scientist) is particularly blurred and unrecognizable, since it is necessary to preserve it, as it is a condition of the possibility of the second determination (probabilistic : information in the sense of Shannon), while avoiding making it intervene explicitly as information (risk of a contradictory tension within the notion of information).

10. Understanding that the pre-shannonian information of Nyquist and Hartley is already a double point (§6) is therefore not an error that archaic or distracted precursors would not have noticed. On the contrary, the theoretical blockage stems from the difficulty we have in thinking together, as a unity, two complementary and inseparable determinations of information which, considered separately, appear incompatible because they are contradictory to each other.

This antagonistic complementarity, which is reminiscent of Niels Bohr's idea of complementarity (Holton, 1981, 74-129), can be represented by an image : when the first determination (non-probabilistic information) is apparent, the other determination (probabilistic : Shannon information) is unapparent because it is somehow dissolved in the first, like sugar dissolved in water ; conversely, when the second determination is apparent (Shannon information), it is the first (transformation invariant) that becomes unapparent and is dissolved in the second.

11. Did Shannon perceive information as an invariant ? There is a very explicit trace of this in 1951, at the Macy 7 conference (Pias, 2004, 271), in Shannon's response to a question from Joseph Licklider concerning information “itself” (and not just quantities of information) :

If we have a message, it is natural to say that any translation of the message, say into Morse code or into another language, contains the same information provided it is possible to translate uniquely each way. In general, then, we can define the information of a stochastic process to be that which is invariant under all reversible encoding or translating operations that may be applied to the messages produced by the process.

This answer actually links two invariances together. The first is explicit : it is the invariance of the information in the stochastic process, which is linked to probabilities ; the second is implied by the intervention of reversible transformations (encodings, translations, etc.). This reversibility requires the invariance of the quantity of non-probabilistic information in each message, as in the zip file example (§8), so that it is this non-probabilistic invariance that conditions the possibility of an invariance of the information in the stochastic process. Here again, the exclusively probabilistic determination of the information proves to be conditioned, as far as its possibility is concerned, by a non-probabilistic determination of the information that is erased.

12. In this short summary, I have limited myself to indicating how the theoretical blockage begins in Shannon's article. But this blockage spreads its obscurities in numerous ramifications. In particular, the transformations that concern information as an invariant of transformation (first determination) are not confined to mathematics. On the contrary, they must be understood in the diversity of phenomenologies, supports and technologies that intervene in processors, memories, transmissions, etc. (Vaudène, 2021). Failing to approach information as an invariant of transformation, we resort to dubious metaphors that assimilate information to bodily granules that could be stored, transported, etc., as we say, for example, “data”. What also remains in difficulty due to the theoretical blockage is a non-mathematical theory of information, of interest to physics and biology as much as to computer science and electronics, of which Shannon's theory would be only one of the possible mathematizations of one of the aspects.

## Une théorie peut en bloquer une autre (Le cas de l'information)

1. Le thème de cette proposition est une étude de la tension qui se noue entre une théorie et l'une de ses conditions de possibilité, lorsque cette théorie occulte, masque, méconnaît, ignore, minore, etc., cette condition de possibilité qu'elle implique et qu'elle préserve d'autant plus sûrement qu'elle en dépend. Cette tension n'est pas nécessairement reconnue comme telle, mais elle provoque un « blocage théorique », comparable, à certains égards, à l'idée d'obstacle épistémologique de Gaston Bachelard (1938). Le blocage ne soutient cette théorie que dans la mesure où l'élaboration théorique des incidences de cette condition de possibilité se trouve partiellement ou totalement obstruée, et demeure donc en souffrance comme science non faite (*undone science*). L'étude sera menée dans un cas exemplaire concernant la science du traitement (éventuellement automatique) de l'information (Arsac, 1971) (*computer science*), à savoir ce qui se noue dans les glissements de sens et les usages divers associés au vocable « information ».

2. Je n'ignore pas que la théorie mathématique de la communication de Claude Shannon (1948) propose un concept d'information, statistique et probabiliste, qui est rapidement devenu dominant dans ses traits majeurs (Segal, 2003, 70), même s'il a donné lieu à diverses variantes aussi bien qu'à des approches liées à la complexité algorithmique. Il est généralement admis que le syntagme « théorie de l'information » renvoie à au moins une théorie de l'information, celle de Shannon en dernier recours quand on ne précise rien, de sorte qu'à cet égard, dans le domaine technique et scientifique, il est admis qu'on sait ce que « information » signifie d'un point de vue théorique (d'autant qu'il s'agit en l'occurrence d'une théorie mathématique).

Dans le premier alinéa de son mémoire de 1948, Shannon fait explicitement référence aux articles de Nyquist (1924) et de Hartley (1928) où est introduite une notion nommée « intelligence » (en anglais, c'est-à-dire : *renseignement*) chez Nyquist, et « information » chez Hartley :

A basis for such a theory [of communication] is contained in the important papers of Nyquist and Hartley on this subject. In the present paper we will extend the theory to include a number of new factors, in particular the effect of noise in the channel, and the savings possible due to the statistical structure of the original message and due to the nature of the final destination of the information.

L'apport de la théorie de Shannon est incontestable. Mais il s'ensuit une situation bizarre dans la mesure où l'information pré-shannonienne non probabiliste (l'information au sens de Hartley) a pris une importance considérable puisqu'elle est devenue l'information au sens de l'informaticien, concept fondamental qui ne dépend, lui non plus, ni de statistiques, ni de probabilités.

3. Il est clair que chacune des deux approches de « information » a sa pertinence propre et qu'il ne convient pas de trancher en faveur de l'une au détriment de l'autre. S'agit-il pour autant de deux notions indépendantes l'une de l'autre ? Peut-on trouver trace de cette problématique dans l'exposé de Shannon ? Dans le 2<sup>e</sup> alinéa de son mémoire, après avoir souligné que les aspects sémantiques ne sont pas pris en charge, Shannon écrit :

The significant aspect is that the actual message is one *selected from a set* of possible messages.

On reconnaît là une manière ensembliste de formuler le principe de l'information non probabiliste, principe qu'on peut synthétiser dans la formule « 1 parmi *n* ». Peu après, dans le 3<sup>e</sup> alinéa, Shannon précise :

If the number of messages in the set is finite then this number or any monotonic function of this number can be regarded as a measure of the information produced when one message is chosen from the set, all choices being equally likely.

Si on efface mentalement la clause de la distribution uniforme (*all choices being equally likely*), on obtient une quantité d'information non probabiliste (pré-shannonienne, au sens de Hartley et au sens de l'informaticien) ; mais si on maintient la clause de distribution uniforme, on obtient une quantité d'information probabiliste (au sens de Shannon). Le glissement est ici manifeste : choisir un message dans un catalogue de messages n'est pas la même chose que choisir un message dans un corpus d'occurrences, composé avec des messages de ce catalogue, et auquel on aurait associé une répartition statistique ou une distribution de probabilités.

4. Sous couvert d'une coïncidence numérique, identifier (et donc réduire) une quantité d'information non probabiliste au cas particulier d'une quantité d'information probabiliste associée à une distribution uniforme n'est au mieux qu'un expédient, qui n'est pas recevable autant au plan conceptuel que d'un point de vue théorique. Que j'aie trois pommes dans un sac et trois oranges dans un autre ne me permet certainement pas d'affirmer que les pommes et les oranges soient la même chose ! Corrélativement, il est incorrect de soutenir que l'information non probabiliste de Hartley (et de l'informaticien) ne serait en somme qu'un cas particulier restreint et archaïque de l'information

probabiliste de Shannon. À cet égard, on ne peut pas analyser le rapport entre l'information pré-shannonienne et l'information shannonienne comme une *extension* qui aurait englobé l'information pré-shannonienne, ni selon le schéma d'un dépassement par réinterprétation à la Einstein dans lequel la théorie dépassée « survit comme cas limite » (Einstein, 1917, 106) dans la théorie dépassante (Vaudène, 2024).

5. Cependant, le mémoire de Shannon est trop précis, trop rigoureux et trop finement ciselé dans sa rédaction pour qu'on s'en tienne à l'idée d'un expédient irrecevable. Il convient donc de se tourner vers une autre hypothèse d'interprétation. Il y aurait bien une « difficulté », mais le glissement qui la trahit serait déjà une manière de forcer le passage et de la contourner sans l'avoir affrontée, thématifiée, ni résorbée. Il faudrait alors comprendre que quelque chose soit resté bloqué pour Shannon à l'endroit même où il a ouvert et déplié sa théorie, tandis que le glissement lui aurait permis de passer outre. Comme je l'ai dit (§3), il est exclu de trancher entre les deux déterminations de « information », de choisir l'une au détriment de l'autre, tandis que leur rapport n'est pas que la seconde (information probabiliste) soit une extension de la première (information non-probabiliste).

6. À mon sens, il faut comprendre que la notion d'information introduite par Nyquist et Hartley est déjà une notion double, en ce sens que deux déterminations de « information » s'y trouvent déjà nouées et confondues, enveloppées dans ce qui semble n'être, en apparence, qu'une seule notion. Partant, le blocage se dénoue quand on provoque la « fission » de cette notion de manière à dissocier les deux déterminations qu'elle articule en même temps qu'elle les confond, à savoir : (1) une détermination non-probabiliste de « information » agissant comme un invariant (je vais y revenir), et (2) une détermination statistique et probabiliste de « information » intervenant dans les optimisations, les représentations, les codages, les chiffrements, les compressions, la résistance au bruit, etc. Une fois ces deux déterminations dissociées, on peut alors clairement comprendre que la théorie de Shannon a bien procédé à une extension, mais qu'elle ne s'applique qu'à la seconde détermination, non thématifiée comme telle (et donc laissée à l'état embryonnaire) par Nyquist et Hartley.

7. Comment comprendre l'information en tant qu'invariant ? Considérons l'exemple d'un alphabet de 256 caractères. Le fait de choisir un caractère dans cet alphabet, quel que soit ce caractère, détermine une quantité d'information « 1 parmi 256 » (8 bits, si on préfère). Cette quantité d'information agit comme un *invariant* qui caractérise la clôture du domaine des choix (256 éléments) et qui s'impose à tout caractère – quel qu'il soit – de cet alphabet : c'est l'information non-probabiliste (première détermination) de Hartley et de l'informaticien. Je considère maintenant un corpus de textes, composés à l'aide de cet alphabet dans une langue donnée, pour lequel je connais la probabilité d'occurrence de chaque caractère de l'alphabet. La connaissance de ces probabilités me permet, par exemple, de réduire la taille des textes en choisissant, pour chaque caractère de l'alphabet, un codage d'autant plus court que le caractère est fréquent (information probabiliste de Shannon, seconde détermination). L'invariant ne consiste pas dans le fait qu'un caractère de l'alphabet soit toujours associé à une même quantité d'information dans ses codages, représentations, etc., mais que chaque système de codage, représentation, etc., choisi pour les caractères de cet alphabet me permette toujours, sans ambiguïté, de distinguer 256 codes.

8. Je considère maintenant des transformations réversibles, par exemple, un cycle de compression, mémorisation, décompression sans perte à l'aide d'un compresseur zip. Si je sou mets un fichier F à ce compresseur, j'attends qu'il me restitue ce même fichier à l'issue d'un cycle complet, ce qui exige au minimum que la quantité d'information associée au fichier (information non probabiliste, première détermination) soit la même à l'entrée et à la sortie d'un cycle complet. Mais j'espère évidemment qu'à l'issue de la compression, le fichier comprimé C obtenu soit plus petit (information liée aux probabilités, seconde détermination) que le fichier original F, quoique cela ne cause aucune perte en ce sens que l'application de la décompression à ce fichier comprimé C doit redonner le fichier original F. On comprendra donc que l'information non probabiliste (première détermination) agit comme un *invariant de transformation* à l'égard d'un réseau de transformations réversibles.

9. Le cœur du blocage théorique est maintenant atteint. Dès lors qu'on croit à une essence exclusivement probabiliste de l'information (seconde détermination), on doit corrélativement veiller à effacer tout trace apparente d'une détermination non-probabiliste de cette *même* information (première détermination) de manière à éviter de soutenir explicitement une notion d'information contradictoire. Mais il s'agit seulement d'en effacer les traces apparentes – et non pas de l'exclure –, car la première détermination (non-probabiliste), en tant qu'elle agit comme un invariant de transformation, est requise pour qu'il soit possible que la seconde détermination prenne sens et soit applicable (cette remarque se transpose au cas de l'information liée à la complexité algorithmique).

On ne s'étonnera donc pas que, dans le mémoire de Shannon, tout ce qui concerne la première détermination (non-probabiliste : l'information au sens de Hartley et de l'informaticien) soit particulièrement brouillé et

méconnaissable, puisqu'il lui faut à la fois la préserver, car c'est une condition de la possibilité de la seconde détermination (probabiliste : l'information au sens de Shannon), tout en évitant de la faire intervenir explicitement en tant qu'information (risque d'une tension contradictoire au sein de la notion d'information).

10. Comprendre que l'information pré-shannonienne de Nyquist et Hartley est déjà un point double (§6) n'est donc pas une erreur que des précurseurs archaïques ou distraits n'auraient pas aperçue. Tout au contraire, le blocage théorique provient de la difficulté que nous avons à penser ensemble, comme une unité, deux déterminations complémentaires et indissociables de l'information qui, considérées séparément, paraissent incompatibles parce contradictoires l'une par rapport à l'autre.

Cette complémentarité antagoniste, qui n'est pas sans rappeler l'idée de complémentarité de Niels Bohr (Holton, 1981, 74-129), peut être figurée par une image : lorsque c'est la première détermination (information non-probabiliste) qui est apparente, l'autre détermination (probabiliste : information de Shannon) est inapparente car elle se trouve en quelque manière dissoute dans la première, comme du sucre dissout dans l'eau ; inversement, lorsque la seconde détermination est apparente (information de Shannon), c'est la première (invariant de transformation) qui devient inapparente et se trouve dissoute dans la seconde.

11. Shannon a-t-il aperçu l'information comme un invariant ? Il y a en une trace tout-à-fait explicite en 1951, dans la conférence Macy 7 (Pias, 2004, 271), dans une réponse de Shannon à une question de Joseph Licklider concernant l'information « elle-même » (et non pas seulement les quantités d'information) :

If we have a message, it is natural to say that any translation of the message, say into Morse code or into another language, contains the same information provided it is possible to translate uniquely each way. In general, then, we can define the information of a stochastic process to be that which is invariant under all reversible encoding or translating operations that may be applied to the messages produced by the process.

Cette réponse noue en fait deux invariances l'une à l'autre. La première est explicite : c'est l'invariance de l'information du processus stochastique qui est liée à des probabilités ; la seconde est impliquée par l'intervention de transformations (codages, traductions, etc.) qui soient réversibles. Cette réversibilité requiert l'invariance de la quantité d'information non probabiliste de chaque message, comme dans l'exemple du fichier zip (§8), de sorte que c'est cette invariance non probabiliste qui conditionne la possibilité d'une invariance de l'information du processus stochastique. Ici encore, la détermination exclusivement probabiliste de l'information s'avère conditionnée, quant à sa possibilité, par une détermination non probabiliste de l'information qui se trouve effacée.

12. Je me suis limité, dans ce court résumé, à indiquer comment se noue le blocage théorique dès le mémoire de Shannon. Mais ce blocage diffuse ses obscurités dans de nombreuses ramifications. En particulier, les transformations qui intéressent l'information comme invariant de transformation (première détermination) ne sont pas cantonnées aux mathématiques. Il faut au contraire les comprendre jusque dans la diversité des phénoménalités, des supports et des technologiques qui interviennent dans les processeurs, les mémoires, les transmissions, etc. (Vaudène, 2021). Faute d'approcher l'information comme un invariant de transformation, on a recours à des métaphores douteuses qui assimilent l'information à des granules corporels qu'on pourrait stocker, transporter, etc., comme on le dit, par exemple, des « data ». Ce qui demeure donc aussi en souffrance du fait du blocage théorique, c'est une théorie non-mathématique de l'information, intéressant autant la physique et la biologique que l'informatique et l'électronique, dont la théorie de Shannon serait seulement l'une des mathématisations possibles de l'un des aspects.

## Bibliography – Bibliographie

- Arsac, J. (1971). « Le concept d'information et l'informatique ». *Dialectica*, 1971, vol. 25, n° 3/4, p. 207-219.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin, 1999.
- Einstein, A. (1917). *La Relativité*, tr. M. Solovine, Paris, Payot, 2001.
- Hartley, R. (1928). « Transmission of Information ». *Bell System Technical Journal*, July 1928, p. 535-563.
- Holton, G. (1981). *L'imagination scientifique*. Paris, Gallimard.
- Nyquist, H. (1924). « Certain Factors Affecting Telegraph Speed », *Bell System Technical Journal*, April 1924, p. 324.
- Pias, C. (ed.) (2003). *Cybernetics. The Macy Conferences 1946-1953*, vol. 1 : *Transactions*. Berlin-Zurich 2003.
- Segal, J. (2003). *Le Zéro et le Un – Histoire de la notion scientifique d'information au 20e siècle*. Paris : Syllepse.
- Shannon, C. (1948). « A Mathematical Theory of Communication ». *Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 379-423, 623-656, July, October, 1948.
- Vaudène, D. (2021). « De l'information à l'écriture », *Revue d'intelligibilité du numérique*, n° 2, 2021 [[en ligne](#)].
- Vaudène, D. (2024). « Relativité de niveau dans les théories », *Intentio*, n° 5 [[en ligne](#)].

## Short biography – Biographie abrégée

- depuis 2011 : Maître de conférence honoraire en informatique à Sorbonne-Université.
- 1977-2011 : Maître de conférence en informatique à l'Université Pierre et Marie Curie.
- 1977 : Thèse de doctorat de troisième cycle : *Analyses transformatives et systèmes informatiques*.
- 1992 : Thèse de doctorat d'État : *Une contribution à l'étude des fondements de l'informatique*.
- 1992-1998 : Directeur de programme au Collège international de philosophie : *La question des fondements*.
- 2018-2022 : Séminaire annuel au Collège international de philosophie : *Trace, information, écriture*.

--