



UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

La constitution de la notion d'information

Séminaire Centre d'Alembert (18.11.09)

Mathieu TRICLOT,
maître de conférences en philosophie, UTBM, RECITS

Introduction (1/13)

- Histoire... et philosophie des sciences. La question de la signification du terme « information ».
- L'information comme catégorie : *protéines, cerveaux, organismes, ordinateurs, systèmes de communication, esprits, sociétés ...*
Au-delà des partages entre disciplines, au-delà des partages entre le naturel et l'artificiel, le naturel et le social.
 - « Le système nerveux très simple d'un mollusque **n'analysera pas les signaux** de l'environnement d'une manière aussi approfondie que celui du singe ou de l'homme, il ne produit pas non plus un spectre aussi vaste de réponses. L'essentiel a lieu **à l'intérieur de la machine**, au niveau du système nerveux central, où **l'information est transmise suivant un code, analysée puis traitée.** » (Jean-Pierre Changeux, *L'homme neuronal*)

Introduction (2/13)

- L'information comme catégorie
 - « S'il existe une analogie intéressante entre les esprits en tant que tels et les ordinateurs en tant que tels, on devrait pouvoir l'exprimer par une analogie entre les esprits et les machines de Turing, puisqu'en un certain sens une machine de Turing est le type le plus général d'ordinateur qui soit. Plus précisément, si comme beaucoup de gens le pensent aujourd'hui **l'esprit est pour l'essentiel un système qui manipule des symboles**, il devrait être intéressant d'étudier l'esprit par analogie avec les machines de Turing. » (Jerry Fodor, *La modularité de l'esprit*)
 - « Le complexe esprit/cerveau est susceptible **d'une double description, matérielle ou physique au sens large, et informationnelle ou fonctionnelle** : ces deux niveaux sont largement indépendants, et le rapport qui s'établit entre eux est à l'image de celui qui lie **un ordinateur en tant que système physique à la description du même appareil en tant que système de traitement de l'information**. » (Daniel Andler, Introduction aux sciences cognitives)

Introduction (3/13)

- L'information comme catégorie
 - « Plus l'organisme se complexifie, plus ses relations à l'environnement se diversifient et **plus il lui faut un cerveau capable de traiter en temps réel des informations lui permettant de s'adapter et d'évoluer**. Il en est de même de nos **sociétés humaines**. Elles cherchent à se doter d'un système nerveux, de vastes mémoires permettant de **stocker les informations** les plus diverses et d'y accéder selon les besoins, et de réseaux intercréatifs connectant les cerveaux individuels à des ordinateurs puissants. » (Joël de Rosnay, *L'homme symbiotique*)
- Ce terme d'information aujourd'hui si répandu possède une histoire extrêmement brève : le moment cybernétique
 - « **L'information est l'information, et non la matière ou l'énergie**. Un matérialisme qui ne reconnaît pas ce fait ne peut prétendre survivre aujourd'hui. » (Norbert Wiener, *Cybernetics*)

Une très brève histoire de la cybernétique (4/13)

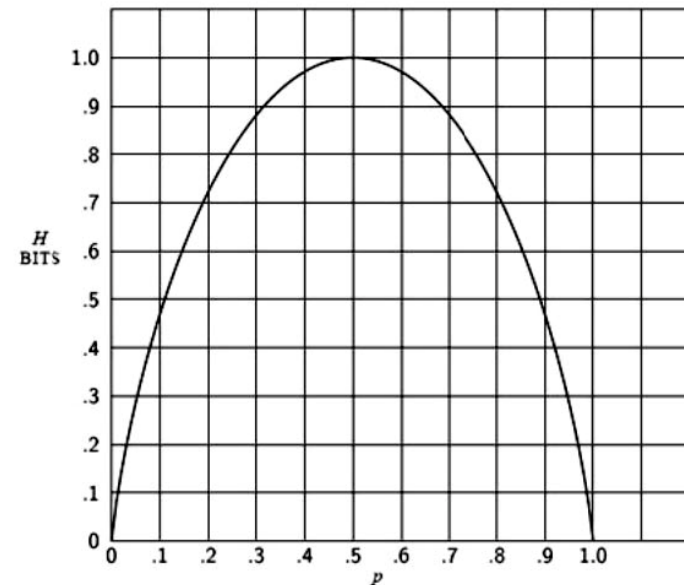
- La cybernétique, « science du contrôle et de la communication chez l'animal et la machine »
 - « Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, j'ai étudié les nombreuses ramifications de **la théorie des messages**. Au-delà de **l'ingénierie électrique pour la transmission des communications**, il existe un champ plus vaste qui n'inclut pas seulement **l'étude du langage** mais aussi celle des messages comme moyens de **contrôle des machines** et **de la société**, le développement des **machines à calculer** et autres automates de même sorte, certaines réflexions sur **la psychologie et le système nerveux**, et un nouvel essai de **théorie de la méthode scientifique**. Cette théorie plus vaste des messages est une théorie probabiliste, une partie intrinsèque du mouvement enclenché par Willard Gibbs en **physique statistique**. »
 - Le domaine cybernétique : théorie des télécommunications, linguistique, contrôle par feedback, sociologie, calcul mécanique, psychologie, neurobiologie, épistémologie... et physique statistique !

Une très brève histoire de la cybernétique (5/13)

- **Une entreprise d'unification du milieu technique**, dans le contexte des recherches de guerre : Théorie des télécommunications, contrôle par feedback, calcul mécanique. Les premières technologies de l'information
- La formation du concept d'information comme **un mouvement d'extension**, du milieu technique vers les sciences du vivant, pour finir par la psychologie et les sciences sociales ?
En réalité, **les passerelles existent dès les recherches de guerre.**

Théorie des télécommunications (6/13)

- Claude Shannon, « A mathematical theory of communication », *Bell System Technical Journal*, 27, 1948. **Une mesure de la quantité d'information** : l'entropie de Shannon
 - La source construit ses messages en sélectionnant des symboles dont les probabilités d'apparition sont connues.
 - Plus il y a d'incertitude pour le destinataire, plus il y a d'information.
 - « Supposons que nous ayons un ensemble d'événements, dont les probabilités d'occurrence sont p_1, p_2, \dots, p_n . Les probabilités sont connues, mais c'est tout ce que nous connaissons de l'événement à venir. Pouvons-nous trouver **une mesure du nombre de « choix »** impliqué dans la sélection de l'événement **ou celle de l'incertitude du résultat ?** »
 - $H = -K \sum p_i \log_2 p_i$



Théorie des télécommunications (7/13)

- Un outil pour le **codage des messages**. Optimiser les capacités des lignes.
- Une très grande fécondité dans le champ de la théorie des télécommunications, mais **difficile à généraliser** :
 - Le problème de la **signification** des messages
 - Le problème de la mesure de la quantité d'information de **séquences individuelles**
- Néanmoins, une porte ouverte : **l'analogie possible entre information de Shannon et entropie en physique statistique**. L'information comme inverse de l'entropie ?
 - « Des quantités de la forme $H = - \sum p_i \log p_i$ jouent un rôle central dans la théorie de l'information [...]. **On reconnaîtra dans la forme de H celle de l'entropie** définie dans certaines formulations de la mécanique statistique, où p_i est la probabilité d'être dans la cellule i de son espace de phase. H est alors, par exemple, le H du fameux théorème de Boltzmann. **Nous appellerons $H = - \sum p_i \log p_i$ l'entropie de l'ensemble des probabilités p_i, \dots, p_n .** » (Shannon, 1948)

Contrôle par feedback (8/13)

- **Le canon automatisé de DCA.** L'identité des opérations du contrôle et de la communication.
 - « Ce livre représente une tentative d'unifier la théorie et la pratique de deux domaines de travail qui sont d'une importance vitale dans l'urgence actuelle et qui ont une unité méthodologique naturelle même s'ils ont jusqu'à présent tiré leur inspiration de deux traditions entièrement distinctes et sont largement différents dans leur vocabulaire et dans la formation de leurs personnels. Ces deux champs sont ceux des séries temporelles en statistique et de l'ingénierie de la communication. »
(Wiener, *The Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series with Engineering Applications*, 1942).
- Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener et Julian Bigelow, « **Behavior, Purpose and Teleology** », *Philosophy of Science*, 10, 18-24, 1943
 - La finalité n'est plus une propriété mystérieuse des vivants, mais s'explique par les nouveaux outils du contrôle par feedback et du traitement de l'information.

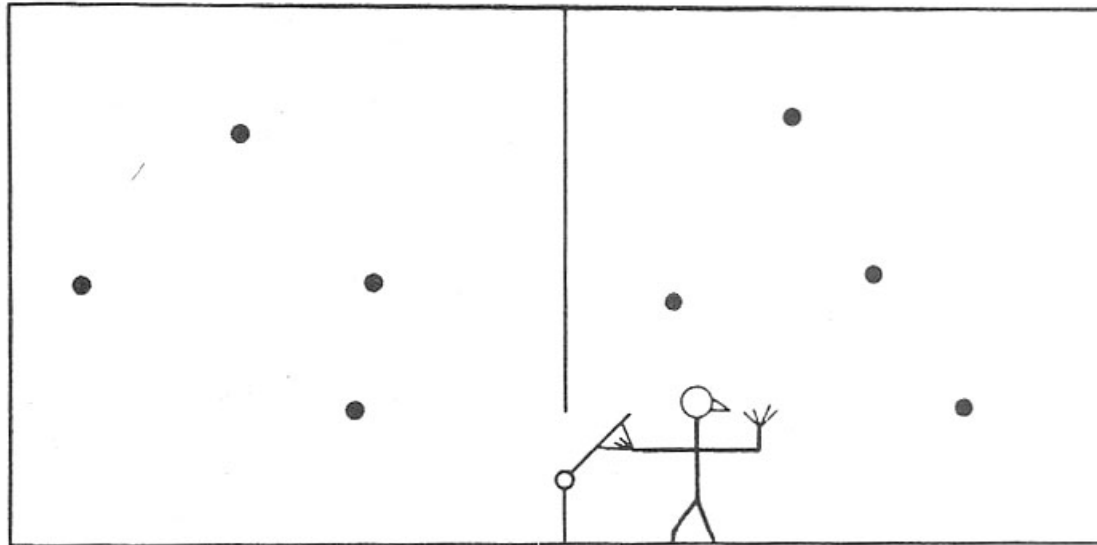
Les nouveaux calculateurs mécaniques (9/13)

- John Von Neumann et l'ordinateur. Le **First Draft of a Report on the EDVAC**. La rencontre avec l'équipe de la Moore School.
- L'usage par Von Neumann de l'article de **McCulloch et Pitts**, « **A logical calculus of ideas immanent in nervous activity** ». Le modèle du **neurone formel**, automate binaire à seuil.
 - L'analogie entre l'ordinateur et le cerveau est présente dès la définition de l'ordinateur
- Transférer le concept à d'autres champs ?
Les sciences humaines et les conférences Macy.
Pas de centre cybernétique unifié.
1948, la grande année cybernétique.
Le groupe éclate en 1952.
1956, la fin de la première cybernétique américaine.

Une représentation physicaliste de l'information (10/13)

- De quoi s'agit-il lorsque l'on parle d'information ? **Le code ou bien le signal.**
 - Une opposition de surface sur le plan technique : numérique ou analogique, discret ou continu.
 - Une différence philosophique. Le symbole s'inscrit dans une matière « indifférente ». Le signal exprime l'état d'un agencement matériel.
- **Le code comme réalité dérivée.** La sixième conférence Macy et le projet d'une « physique des dispositifs numériques ». Ramener les comportements numériques à des effets de seuil sur une dynamique sous-jacente d'ordre continu
- L'information comme mesure du degré d'ordre d'un agencement matériel.
 - « La notion de quantité d'information se rattache très naturellement d'elle-même à une notion classique en mécanique statistique : celle d'entropie. **Tout comme l'information est dans un système une mesure de son degré d'organisation, l'entropie est une mesure du degré de désorganisation d'un système.** L'une est simplement l'inverse de l'autre. » (Wiener, *Cybernetics*)

Une représentation physicaliste de l'information (11/13)



- La « solution » de Wiener : **le démon doit être couplé avec le gaz** pour prélever de l'information. **Il ne peut fonctionner qu'un temps** avant d'être « déconditionné ».
- « Nous sommes immergés dans une vie pour laquelle **le monde comme un tout obéit à la seconde loi de la thermodynamique** : la confusion augmente et l'ordre décroît. Cependant, comme nous l'avons vu, la seconde loi de la thermodynamique, bien qu'elle puisse constituer une proposition valide pour la totalité d'un système clos, n'est manifestement pas valable pour une partie non isolée d'un tel système. **Il existe des îlots locaux et temporaires d'entropie décroissante dans un monde dans lequel l'entropie comme un tout tend à croître**, et l'existence de ces îlots permet à certains d'entre nous de croire en l'existence d'un progrès. »
(Wiener, *The Human Use of Human Beings*)

Une représentation physicaliste de l'information (12/13)

- Où cette représentation physicaliste intervient-elle dans le développement de la discipline ? **Les débats autour de l'œuvre de McCulloch et Pitts.** A quel niveau considérer le traitement de l'information ?
 - La théorie des neurones formels, comme **une pure théorie logique ?**
« Il faut comprendre clairement que ni McCulloch et Pitts ni le présent auteur ne considèrent ces dispositifs comme des modèles physiologiques exacts des cellules et des tissus nerveux. Ils ne sont pas conçus dans cette perspective. Ils sont conçus pour **représenter et analyser la logique des situations de tout processus discret, que ce soit dans le cerveau, dans la machine ou n'importe où ailleurs.** » (Minsky, *Computation, Finite and Infinite Machines*)

Une représentation physicaliste de l'information (12/13)

- Où cette représentation physicaliste intervient-elle dans le développement de la discipline ? **Les débats autour de l'œuvre de McCulloch et Pitts.** A quel niveau considérer le traitement de l'information ?
 - Von Neumann et **la logique du cerveau**

« Il faut bien comprendre que le langage est dans une large mesure un accident historique. [...] Tout comme des langages comme le grec et le sanscrit sont des faits historiques et non des nécessités logiques absolues, **il est raisonnable de supposer que la logique et les mathématiques sont elles aussi des formes d'expression historiques accidentelles.** Elles peuvent avoir des variantes essentielles, c'est-à-dire qu'elles peuvent exister sous d'autres formes que celles auxquelles nous sommes habitués. De fait, la nature du système nerveux central et des systèmes de messages qu'il transmet indique qu'il en est ainsi. [...] **Nous sommes en présence de structures logiques différentes de celles auxquelles nous sommes accoutumés en logique et en mathématiques.** [...] Ainsi, la logique et les mathématiques du système nerveux central, considérées comme des langages, doivent être structurellement, fondamentalement différentes des langages de notre expérience courante. Notons enfin que le langage auquel on a affaire ici peut correspondre à un **code court** au sens décrit plus haut, plutôt qu'à un **code complet** : quand nous parlons des mathématiques, nous sommes peut-être en train de parler **d'un langage secondaire, bâti sur le langage premier réellement utilisé par le système nerveux.** Ainsi les formes extérieures (visibles) de nos mathématiques ne sont-elles pas absolument pertinentes pour évaluer quels sont les véritables langages mathématiques et logiques utilisés par le système nerveux central. » (Von Neumann, *L'ordinateur et le cerveau*)