

Revue Internationale de

ISSN 0980-1472

systemique

Vol. 8, N° **2**, 1994

afcet

DUNOD

AFSCET

Revue Internationale de
systemique

Revue
Internationale
de Sytémique

volume 08, numéro 2, pages 183 - 210, 1994

Cognition et multicrucialité

Gérard Pinson

[Numérisation Afscet, janvier 2016.](#)



Creative Commons

COGNITION ET MULTICRUCIALITÉ

Gérard PINSON¹

Résumé

La connaissance de la pensée consciente suppose l'usage de la pensée consciente et produit de la pensée consciente. Nous examinons certaines nécessités logiques et épistémologiques qu'implique ce processus d'objectivation du subjectif, et proposons les thèses suivantes :

- 1^o) La compréhension de la pensée consciente explique et implique les structures cognitives du sujet.
- 2^o) L'expérience montre qu'il existe plusieurs modalités cognitives, comme il existe plusieurs modalités sensorielles : primaire/discursive/multicruciale.
- 3^o) Toute pensée n'est pas algorithmique. Les limitations de la rationalité discursive impliquent l'existence d'autres modalités cognitives.
- 4^o) La modalité cognitive primaire produit des énoncés tautologiques en se fondant sur une primitive du psychisme : l'aptitude à distinguer.
- 5^o) La modalité cognitive multicruciale (ou « visuelle »), en associant distinction et composition, élabore des classifications informationnelles par réarrangements successifs.
- 6^o) L'information est classifiable parce que l'information en valeur propre est associée à un contexte par rapport auquel elle est référenciée (structure « ternaire » de l'information).

Abstract

The knowledge of mind requires mind and produces mind. Some logical and epistemological implications of subjectivity objectivizing are examined as following statements :

- 1^o) Mind understanding implies and explains subject's mind structures.
- 2^o) Experience shows that there are several cognitive modalities as there are sensory organs: primary, discursive, multicrucial.
- 3^o) Non-algorithmic thought hypothesis: discursive rationality limitations implies other existing cognitive modalities.
- 4^o) Tautologies production by primary modality is founded on a basic mind property: distinction ability.
- 5^o) Multicruciality (as a "visual" modality), associating distinction and combination, classifies information with successive rearrangements.
- 6^o) Is it possible to classify information because proper value of information is linked to a context with a reference ("ternary" structure of information).

1. Lycée d'enseignement technologique La Martinière - Terreaux, 9, rue des Augustins, 69283 Lyon Cedex 01.

extériorise (sans les avoir appris !) lorsque, dans son voyage long de 6 000 km vers la haute vallée du Nil, cet oiseau infléchit brusquement sa migration du Sud-Est vers le Sud – évitant ainsi les pièges mortels du désert d'Arabie – sur la foi de quelques étoiles brillant dans le ciel de septembre par 35° lat. N. et 33° long. E. Une telle compétence n'est certainement pas le résultat d'un calcul de trigonométrie mettant en jeu des règles appliquées à une base de connaissances mathématiques et astronomiques, comme le fait par exemple l'ordinateur de bord qui assiste un marin dans une course transatlantique.

2°) *J'apprends à connaître*. De façon similaire, du savoir-faire instinctuel à la connaissance acquise grâce à une aptitude innée à l'apprentissage – aptitude qui s'observe chez les primates notamment – existe un deuxième saut qualitatif : les « enfants sauvages » sont là pour nous dire la précarité de la pensée consciente pro-humaine² lorsque celle-ci n'est soumise à aucune procédure éducative. Si l'intelligence naturelle est issue d'un processus historique phylogénétique, l'intelligence culturelle est issue d'un processus doublement historique, spécifique et individuel.

3°) *Je sais que je sais*. La connaissance réflexive se situe à un niveau supérieur. Par exemple, les singes vervet ont une vie sociale développée. Mais ils paraissent manquer de la connaissance immédiate et réflexive dont les humains usent pour lire dans l'esprit les uns des autres (R. Seyfarth and D. Cheney, 1992).

« Monkeys see the world as composed of things that act, not things that think and feel ». (Une vision du monde quelque peu similaire existe dans l'autisme humain). « Like the primatologists who study them, vervet monkeys observe social interactions and draw generalisations about the types of relationships that exist among individuals. But there is no evidence that the monkeys have a "theory of mind" that allows them to recognise their own knowledge and attribute mental states to others. While vervet monkeys are acutely sensitive to other animals' behaviour, they know little about what causes them to do what they do. A monkey may use of abstract concepts and have motives, beliefs and desires, but her mental states are not accessible to her: she does not know what she knows. »

4°) *Je vois*. De la connaissance réflexive à la compréhension existe un dernier saut qualitatif. Expliciter ses connaissances et ses démarches est pour un expert une régression difficile, car cela revient à énoncer des règles dont il se souvient encore, mais qu'il n'utilise plus : dans la hiérarchie initiation/compétence/maîtrise/expertise le système-expert se situe au niveau du débutant, qui applique des règles, alors que l'expert voit ce qu'il faut faire dans une situation donnée, de façon non

algorithmique. Dans le cas d'un problème à combinatoire réduite, comme le jeu d'échecs où le nombre moyen de coups possibles à chaque étape est de l'ordre de 35, une simulation informatique des capacités de l'expert (ici un champion d'échecs) est réalisable, moyennant l'examen systématique de plusieurs millions de propositions par seconde, comme le fait le programme *Deep Thought* développé par IBM. Mais au jeu de Go, où le nombre de coups légaux est de l'ordre de 400, cette technique devient inopérante : il y a de bons joueurs, mais pas de bons programmes de Go (J. Pitrat, 1990).

Il semble donc qu'il existe, à tous les niveaux de la noogenèse, des processus cognitifs, de complexité croissante, enracinés dans la dimension temporelle, partiellement simulables par des moyens algorithmiques mais probablement, pour tout ou partie d'entre eux, de nature autre que purement algorithmique : on simule aisément la navigation stellaire des migrants, moins facilement les processus d'acquisition de connaissances nouvelles. Ajouter par contre la règle « je sais que je sais » dans la base d'un programme d'intelligence artificielle – cf. le robot *Cyc* de la société MCC (Wallich, 1992) – ne lui confère pas une capacité autoréflexive. Enfin l'analyse de l'expertise est une énigme, même pour l'expert.

3-2: L'intelligibilité que nous propose la rationalité discursive sur elle-même et sur le monde est limitée.

3-2-1: La pensée consciente contient les mathématiques ; l'inverse n'est pas vrai. Si la rationalité discursive a la cardinalité du dénombrable, la réflexion intuitive a la puissance du continu.

De nombreux auteurs invoquent les théorèmes de limitation (Gödel, Tarski, etc.) pour avancer que la pensée est en quelque sorte, « plus grande » que les mathématiques. Ainsi, M. Kline écrit (Kline, 1975) :

« Le théorème de Gödel montre que l'intuitivement "certain" dépasse le mathématiquement "démonstrable" [...] Si nous mettons en question les énoncés acceptés de façon intuitive, nous ne pouvons les démontrer qu'en usant d'autres énoncés eux aussi intuitifs. Même ces dernières intuitions, nous ne pouvons par démonstration les faire remonter trop haut, sous peine de faire naître des paradoxes ou d'autres difficultés sans solution, notamment en logique ».

Les résultats dus à Gödel s'appliquent à divers systèmes axiomatiques, notamment au système d'axiomatisation de Zermelo-Fraenkel (ZF) de la théorie des ensembles sur laquelle se fonde une grande partie des mathématiques. On sait

que l'hypothèse du continu (il n'y a pas de nombre cardinal entre $\aleph$ et $2^{\aleph}$) n'est ni réfutable (Gödel), ni démontrable (Cohen) dans ZF. Ce que Bernard Beauzamy (Beauzamy, 1992) illustre ainsi :

« L'ensemble $\mathbf{N}$ des entiers et celui $\mathbf{R}$ des réels sont construits de manière axiomatique, de manière à représenter notre idée intuitive de l'énumération des entiers et des points sur la droite. On peut alors se poser la question (assez naturelle) : existe-t-il des ensembles intermédiaires, c'est-à-dire ayant strictement plus d'éléments que $\mathbf{N}$ et strictement moins que $\mathbf{R}$? Cette question paraît bien posée ; en réalité, elle est indécidable : les axiomes ayant servi à construire $\mathbf{N}$ et $\mathbf{R}$ ne permettent pas de trancher. On peut rajouter un axiome, disant qu'un tel ensemble intermédiaire existe, ou l'axiome contraire ; dans les deux cas, on aura une théorie cohérente. En langage simple : les axiomes de base sont insuffisants pour décrire notre perception intuitive, qui est plus riche ».

Selon une des constructions possibles de $\mathbf{R}$ (construction de Dedekind), $\mathbf{R}$ apparaît comme un sous-ensemble de l'ensemble $P(\mathbf{Q})$ des parties de $\mathbf{Q}$ (ensemble des nombres rationnels). Les propriétés de $\mathbf{R}$ (puissance du continu) découlent de l'énoncé selon lequel « l'ensemble des sous-ensembles d'un ensemble infini dénombrable n'est pas dénombrable ».

On peut exprimer ces résultats en terme de calculabilité, c'est-à-dire de simulation algorithmique de la pensée. Établir ou infirmer une proposition est un problème que l'on est censé pouvoir résoudre au moyen d'une procédure algorithmique effectivement utilisable (un langage formel au sens de Chomsky, décidé par une machine de Turing). Comme l'ensemble des mots (*i.e.* des chaînes de caractères finies) écrits sur un alphabet fini A est dénombrable, une procédure effective étant décrite par une chaîne finie, il n'existe qu'un nombre dénombrable de procédures effectives. Mais par ailleurs, le nombre de problèmes est égal au nombre des langages qui les codent (Wolper, 1991). Or l'ensemble des langages est l'ensemble des sous-ensembles (finis ou non) de l'ensemble des mots, et est donc, d'après le théorème cité ci-dessus, non dénombrable : « il ne peut donc y avoir une procédure effective pour chaque problème ! » conclut P. Wolper.

C'est ce que Chaitin a bien illustré (Chaitin, 1987) dans son célèbre calcul de la probabilité Ω_n , qu'une machine de Turing universelle s'arrête ou non quand on lui fournit un programme écrit sur n bits choisis au hasard. Le programme simulant cette machine traduit par la résolution d'une équation diophantienne (comprenant près de 17 000 variables !) le calcul du k -ième bit de Ω_n . Le résultat est que la connaissance que nous pouvons avoir sur les $k-1$ premiers bits de Ω_n ne nous dit rien du k -ième bit. Pour k donné, cette équation, qui dérive de l'axiomatique des entiers naturels, a-t-elle un nombre fini ou infini de solutions ? La réponse est

indécidable, ou, ce qui revient au même, n'est pas calculable, parce que la solution tient dans la connaissance de la k -ième décimale (entière) d'un nombre (Ω) qui, lui, est réel (plus précisément, transcendant).

Cette expérimentation informatique met le doigt sur un fait important : le théorème de Gödel est lui-même une conséquence de ce qu'implique la théorie de l'information (Chaitin, 1979) : les axiomes fondant un système formel n'étant pas réductibles, l'information qu'ils contiennent est « aléatoire » (au sens de la théorie de l'information : leur entropie est maximale). Il n'est possible de prouver qu'une suite est aléatoire que si cette suite est plus petite que le système formel. « Comme on peut considérer une suite de chiffre de taille arbitraire, il existe donc toujours des suites dont il n'est pas possible de prouver qu'elles sont aléatoires ! »

Ainsi les énoncés concernant les limites formelles de la rationalité discursive relèvent-ils d'une idée plus profonde concernant les limites informationnelles des structures cognitives. Nous pouvons distinguer un nombre infini d'assertions rationnelles finies, au sens où nous avons défini le mot « distinction » (Pinson, 1992) : une des deux opérations cognitives fondamentales (avec la composition). Une assertion rationnelle est une unité de sens (un *schème*) « raisonnable » (c'est-à-dire qui ne comporte aucun non-sens : voir sections 4 et 6) qui combine de « simples constatations » que nous pouvons faire sur le monde des objets (concrets ou abstraits) en une architecture finie dont nous pouvons en tout endroit justifier ou infirmer rationnellement les mécanismes. Une assertion rationnelle se distingue d'une autre assertion rationnelle en ce sens que des assertions contradictoires s'éliminent mutuellement : comme nous le verrons ci-après (section 4), tout repose sur la faculté que nous avons de distinguer A de $\text{NON-}A$. Or, distinguer une assertion rationnelle revient, pour le sujet, à transmettre une information (à lui-même). L'information transmise est fondamentalement de nature quantifiée et séquentielle, comme un algorithme ou comme une suite (finie) de nombres entiers, car aussi bien du point de vue de l'information transmise que de la logique, il existe une plus petite quantité cognitive discernable : c'est OUI ou NON. Et une suite (finie) d'unités cognitives discernables, d'assertions rationnelles, est elle-même ordonnée selon une certaine dimension, temporelle le plus souvent. De telles constructions intellectuelles (dont les mathématiques elles-mêmes), finies et distinguables les unes des autres, ordonnées et quantifiables, sont en nombre dénombrable : la cardinalité de l'ensemble des assertions rationnelles discernables est $\aleph_0$.

Or, comme nous le verrons dans la section 4, nous pouvons *a priori* imaginer, un problème étant donné, une infinité d'assertions (dont une seule est vraie, ou un nombre fini d'entre elles). Nous pouvons aussi imaginer une infinité d'axiomatiques, c'est-à-dire de sous-ensembles d'assertions, définissant un

problème nouveau. Et toute assertion nouvelle, ajoutée à un sous-ensemble préexistant, définit un nouveau problème, aussi proche que l'on veut du problème précédent: il suffit que l'assertion nouvelle ne modifie que « d'un *epsilon* » les données antérieures! Ce processus de création intellectuelle n'a pas de fin concevable, ce que le langage naturel traduit bien: la définition exacte d'un mot nécessite une suite infinie d'assertions rationnelles élémentaires, tant il est vrai que des mots comme « arbre », « rigueur » ou « information » véhiculent une signification complexe qui ne se satisfait pas d'une suite finie de définitions élémentaires, quel qu'en soit le nombre: la liste des significations de ces mots est inépuisable, au fur et à mesure que le contexte (l'environnement) dans lequel ils sont utilisés évolue lui-même. En fait, la signification d'un mot est liée à l'univers sémantique du sujet à qui appartient ce mot, et varie d'ailleurs continuellement au cours du temps, selon l'évolution cognitive du sujet. La signification d'une assertion rationnelle lui est liée, et relève d'un type informationnel dont nous avons présenté les grandes lignes (Pinson, 1985, 1992): non-transmis, distribué dans la quasi totalité de l'univers sémantique du sujet, en cohérence avec cet univers (hologrammorphe). Ainsi, par la réflexion intuitive, par l'imagination, nous avons accès à une infinité de sous-ensembles d'assertions définis sur les objets de la rationalité discursive. Nous pouvons alors, non pas définir complètement, mais proposer une facette parmi d'autres qui caractérise la réflexion intuitive: la réflexion intuitive est l'ensemble des sous-ensembles de l'ensemble des assertions rationnelles discernables. Un tel ensemble, on l'a vu, n'est pas dénombrable: la réflexion intuitive a la puissance du continu, et a pour cardinalité $\aleph_1$ (si on accepte l'hypothèse du continu).

3-2-2: *La connaissance objectivement réfutable ne nous dit pas ce que le monde est, elle nous dit ce qu'il n'est pas.*

Si la rationalité discursive est limitée quant à la possibilité de nous proposer un énoncé « vrai » sur elle-même, est-elle au moins en mesure de le faire sur le monde? La réponse est négative. Avec Felden (Felden, 1992), appelons **P** l'ensemble universel des phénomènes physiques observables dans lequel sont énoncées les « lois de la physique », et **G** l'ensemble des modèles mathématiques, « géométriques », définis *in abstracto* pour intelliger **P**. Felden met en évidence l'erreur qui consiste à identifier ces deux espaces et qui conduit à des énoncés indécidables. Le réel paraît définitivement « voilé » (d'Espagnat, 1980), et l'on est réduit à énoncer que « tout se passe comme si... » Le concept de réfutabilité (K. Popper) ou de contrôle (C. Bernard) implique qu'une connaissance est supposée vraie... jusqu'à preuve du contraire, et qu'elle est considérée comme

« scientifique » si précisément sa position épistémologique fait de cette connaissance quelque chose qu'il est possible de contredire, éventuellement, de façon objective, par l'expérience notamment. Bref, la connaissance scientifique est vraisemblable, plutôt que vraie. Mais même dans le cas d'une connaissance réfutable par l'expérience, cela n'est pas suffisant pour affirmer que « le Réel est vraisemblablement comme ceci et comme cela ». Ainsi une expérience d'interférences électroniques ne nous dit pas que les électrons (observés dans **P**) sont des ondes (construites dans **G**), mais affirme seulement que les électrons dans cette expérience-là ne se comportent pas comme des corpuscules. De même une expérience de collisions d'électrons ne nous dit pas que les électrons sont des corpuscules, c'est-à-dire des particules matérielles, mais elle nous dit, si l'on admet qu'il s'agit bien du même objet de connaissance vu à travers deux expériences fort différentes, que les électrons ne se comportent pas, là, comme des ondes. De la célèbre « dualité onde-corpuscule » ne subsiste qu'une seule connaissance (vraisemblable): l'électron n'est ni une onde, ni un corpuscule, au sens qu'ont ces termes dans notre monde macroscopique. La connaissance objective ne nous dit pas ce que le monde est, elle nous dit ce qu'il n'est pas (règle de l'évidence négative, due à Hempel):

Si l'hypothèse **H** a une implication **I**,
et si cette implication **I** est vérifiée par l'expérience,
cela ne veut pas dire que l'hypothèse **H** soit correcte.

Le raisonnement correct est:

Si l'hypothèse **H** a une implication **I**,
et si cette implication **I** est démentie par l'expérience,
alors l'hypothèse **H** est fausse.

Autrement, dit, parmi une infinité continue ($\aleph_1$) de théories rationnelles imaginables que nous faisons sur le monde (une théorie peut être exacte, c'est-à-dire rationnelle, tout en étant fausse), une infinité dénombrable ($\aleph_0$) parmi ces théories constitueront une réponse à la fois rationnelle et vraie aux questions que nous nous posons sur le monde. Il est clair que si nous misons uniquement sur nos préférences personnelles ou même sur le hasard pour trouver ces réponses, nous avons vraiment très peu de chances de « tomber pile »: autant que de pointer exactement un nombre entier sur la droite des réels, une chance sur l'infini! Notre problème est alors, plutôt que de concevoir des solutions convenables aux questions posées, de sélectionner dans l'infinité continue imaginable des constructions rationnelles mais fausses et donc inutiles, l'infinité dénombrable des constructions vraies.

Cela ne diminue en rien le rôle central joué par le discursif, unique moyen à notre disposition pour contrôler la validité (mais non la véracité) de nos constructions mentales – nous n'aurons jamais que ce moyen pour construire de façon fiable des modèles cognitifs de la cognition. Mais si les ressources de la pensée consciente excèdent la pure intellection (ou « computation ») rationnelle, c'est qu'il existe en dehors de celle-ci une ou plusieurs autres facultés cognitives. En particulier, nous sommes conduits à chercher des réponses à au moins deux questions, issues respectivement des faits exposés en 3-2-1 et 3-2-2 :

– D'où viennent les certitudes intuitives sur lesquelles reposent nos constructions intellectuelles ?

– Ces constructions intellectuelles ayant fonctionné, d'où nous vient l'intime conviction « d'avoir compris quelque chose » ?

PROPOSITION 4: La logique primaire produit des énoncés tautologiques en forme de lapalissades. Située à la racine des processus cognitifs, elle se fonde sur une primitive du psychisme: l'aptitude à distinguer.

L'expérience (dont notre propre expérience intérieure) montre que nous sommes sensibles aux évidences, et, symétriquement, aux antinomies. Constaté qu'une tautologie accède d'emblée au sommet de l'entendement humain, c'est constater une évidence factuelle née d'une expérience intime, d'une introspection, qui ne nous dit rien sur le monde, mais éclaire seulement un mécanisme de notre propre pensée, mécanisme subjectif et abstrait par essence.

Monsieur de La Palice, qui prit soin d'être vivant un quart d'heure avant d'être mort, contribua à la célébrité de la logique primaire³. Une lapalissade fait toujours sourire. Pourtant, à la base de la psyché humaine, il y a une « case » – la première – où les savoirs sont à la fois innés et conscients. Elle est à l'origine des premiers savoirs spécifiquement humains qui reposent, non pas sur la logique discursive, mais sur le sens commun, primaire, dont l'origine est à considérer aussi bien dans son contexte phylogénétique que dans son contexte ontogénétique (Dartan, 1968, 1992). C'est le sens commun, qui nous permet, plutôt que de donner les bonnes réponses, de poser les bonnes questions. C'est aussi le sens commun qui, devant une scène « absurde », nous fait rire: il faut sans doute voir dans la logique primaire une des racines de l'humour.

4-1: *L'aptitude à la logique primaire est probablement innée.*

« La richesse des mécanismes perceptifs innés et d'une façon générale, la richesse de l'organisation cérébrale innée rend beaucoup plus vraisemblable la

thèse selon laquelle toute acquisition cognitive quelle qu'elle soit n'est rien d'autre que l'actualisation d'une façon de fonctionner du cerveau, définie potentiellement par la constitution innée » (Tabary, 1992).

Cette assertion semble se vérifier au niveau cognitif usuel, quand par exemple la distinction entre réalité concrète et représentation abstraite du monde apparaît être une distinction innée (Mitchell et Lacoche, 1991). Mais à un niveau plus profond, primaire, on peut mettre en évidence chez des bébés humains âgés de quelques mois seulement de solides aptitudes de « bon sens », évoquant l'existence d'un « "prêt-à-penser" pré-programmé » (Lécuyer, 1991): un bébé de quatre mois réagit à un événement « impossible », obtenu au moyen d'un truquage convenable ayant pour résultat de heurter son bon sens naturel... Dès le plus jeune âge, le bébé est doté d'aptitudes à la distinction de ce qui est évident ou de ce qui est absurde, aptitudes sur lesquelles construit sa capacité, innée, à apprendre.

Après tout, le jeune enfant peut éclater de rire avant même de savoir parler... Nous n'évoquons pas le rire que provoquent caresses ou chatouilles... mais le rire qui naît face aux pitreries d'une sœur ou d'un frère aîné, dont la « technique » théâtrale est précisément fondée sur la transgression du sens commun...

4-2: *Si un critère de réfutabilité est à l'origine de la rationalité objective, le critère d'apodicticité fonde la rationalité primaire, qui rend possible la distinction a priori entre l'évident et l'absurde.*

L'expérience nous montre que, parmi toutes les perceptions possibles *a priori*, une seule se produit qui est conforme à des lois constantes. Une telle coïncidence devient de plus en plus improbable à mesurer que l'expérience se prolonge.

« Le besoin d'explication », écrit J.-R. Vernes (Vernes, 1982) en des termes proches de ceux que nous avons employé en 3-2-2, « est lié à la constatation immédiate que nous pouvons imaginer une multitude de représentations différentes, [...] *a priori* possibles. Puisque toutes sont possibles, pourquoi celle qui se produit effectivement est-elle toujours l'unique suite de représentations conforme aux lois expérimentales ? S'il se produisait n'importe quoi, nous n'aurions pas besoin d'explication. Et il en serait de même si nous ne pouvions imaginer à l'avance qu'une seule suite de représentations, celle qui se produit réellement. Dans le cas des perceptions le besoin d'explication est donc intimement lié à la contradiction apparente entre la contingence de l'imaginaire et la légalité du perçu. »

L'exigence rationnelle fondamentale ne consiste donc pas dans un enchaînement nécessaire entre les causes et les effets, selon l'assertion rationaliste naïve, mais

seulement dans un accord nécessaire entre les lois de la nature, telles qu'elles nous apparaissent à l'expérience (**P**), et celles de la pensée, telles qu'elles nous apparaissent dans la réflexion *a priori* (**G**), c'est-à-dire sans référence à des expériences.

«Or», écrit Vernes, «cette réflexion *a priori* se manifeste sous deux aspects entièrement différents, selon les objets auxquels elle s'applique». Dans certains cas, comme celui de la géométrie, les qualités propres de ces objets permettent d'établir à leur propos des raisonnements déductifs. La raison apparaît alors comme l'ensemble des principes logiques, caractérisés par leur nécessité, qui dirigent un tel raisonnement. Vernes nomme «raison nécessitante» ce type de rationalité. Mais dans d'autres cas les qualités propres aux objets envisagés conduisent à considérer ceux-ci comme également possibles ou également probables. L'efficacité de cette autre forme de raison, appelée par Vernes «raison aléatoire» et que nous disons «primaire», est démontrée par le calcul des probabilités.

L'analyse épistémologique de l'application de **G** à **P** conduit, selon le cas, à deux résultats opposés. Dans le cas des lois physiques, les structures informationnelles qu'élabore le sujet sont construites *à partir de* l'expérience. Dans le cas des jeux de hasard, elles sont connues *avant* l'expérience : c'est par ce moyen que l'on peut ainsi mettre en évidence qu'un dé est pipé ou qu'une pièce est faussée, parce que la logique primaire impose *a priori* l'égalité des chances pour chaque face du dé ou de la pièce («si ce n'est pile, c'est face»). Le statut épistémologique de ces deux actes d'information est donc opposé : le premier est réfutable par l'expérience ; le second, apodictique (Pinson, 1985, p. 51) – apportant une vérité de droit, différente d'une vérité de fait – vérifie celle-ci.

Il découle qu'à ces deux modalités cognitives correspondent deux types de réponses aux questions que formule le sujet sur le monde (dont lui-même). La rationalité primaire le renseigne sur le vrai : «une pièce est côté pile ou côté face» ($p \oplus \neg p = 1$), fournit des prémisses, mais ne saurait faire émerger aucune information autre qu'elle-même. La rationalité discursive le renseigne sur l'exact, valide un raisonnement ou un calcul (par ex. si $q = 1$, alors $p \oplus q = \neg p$), mais ne saurait produire une quelconque prémisse.

4-3: Devenir conscient, c'est cesser d'être inconscient : la pensée consciente est auto-consistante, c'est-à-dire complètement accessible à la pensée consciente.

Alors que, compte tenu de la séparation de fait entre notre univers intérieur conscient et le monde (*i.e.* notre environnement extérieur et intérieur), celui-ci nous sera toujours partiellement «voilé», c'est précisément parce que notre

compréhension s'applique à elle-même que nous avons une possibilité d'examiner cette fois un fait qui ne nous soit pas voilé (puisque nous y avons accès de façon immédiate) : la pensée consciente est peut-être le seul objet dans l'univers qui soit complètement accessible à la pensée consciente !

Plus précisément, la pensée fait partie de **P** comme observable et de **G** comme observant. On peut discuter de la validité d'un modèle «géométrique» de fonctionnement cérébral établi dans **G** à partir d'observations effectuées dans **P**. En revanche, un énoncé relevant de la rationalité primaire, formulé dans **G**, s'applique *ipso facto* à **P** : il ne saurait y avoir de contradiction. On peut discuter de la validité des modèles d'explication de la pensée consciente en tant qu'objet, mais non de leurs axiomes, qui sont nécessairement vrais : l'inverse – choisir un axiome faux – relevant de la folie, du non-sens (mot dont nous nous expliquerons plus loin). Par conséquent, au contraire des objets physiques et biophysiques (réel voilé), nous voyons là une raison pour laquelle la pensée est peut-être le seul objet de l'univers dont on peut raisonnablement espérer, par principe, une compréhension dénuée d'ambiguïté, puisqu'elle peut et *doit* s'appliquer à elle-même des énoncés perçus intuitivement, et légalement, comme vrais. Il n'y a précisément pas de difficultés liées à des questions d'autoréférentialité ou de complétude, s'agissant d'un objet non-contradictoire par essence : $p \wedge \neg p = 0$ n'a pas à être démontré. La pensée consciente est, en quelque sorte, auto-consistante.

Dans ces conditions, le projet socratique du «connais-toi toi-même» s'avère vraisemblable. Par cette compréhension croissante de son propre fonctionnement, la pensée consciente devient de plus en plus consciente, puisqu'en les disant, elle met au monde des ressorts cognitifs initialement inconscients, et, en quelque sorte, les *fait exister*. Dans ce processus d'auto-édification (devenir conscient, c'est cesser d'être inconscient !), nous conjecturons que la pensée est *a priori* non seulement apte à se comprendre elle-même, mais encore à se transformer et se complexifier sans limite prévisible.

PROPOSITION 5: La modalité cognitive multicruciale – que l'on pourrait dire «visuelle» – fait intervenir (comme son homologue sensorielle) plusieurs actes cognitifs, en une construction mentale qui «se tient», élaborée par réorganisations, réarrangements successifs.

Une analyse linéaire ou arborescente est insuffisante pour saisir et maîtriser la complexité d'un système dans sa globalité. Nous avons donné, à partir de l'exemple de la construction de la Classification Périodique des Éléments par Mendeleev, la description d'une démarche heuristique qualifiée de «multicruciale» (Dartan,

1968; Pinson, 1985). On dit qu'une expérience est « cruciale » lorsque celle-ci permet de rejeter ou confirmer une hypothèse et sert de critère. Plus générale, la démarche multicruciale fait appel à plusieurs processus cognitifs, dans le but de « tisser » un réseau de connaissances par le jeu de « recoupements multiples », comme un jeu de mots croisés :

- a) Distinguer : – des éléments d'information ;
- b) Classifier : construire une grille de classification, catégoriser ;
- c) Classer : remplir cette grille par l'ensemble des éléments collectés disponibles ;
- d) Valider : modifier et/ou compléter le classement et/ou la classification pour obtenir une cohérence acceptable de l'ensemble des éléments et de leurs relations.

Ces moments de pensée ne sont pas nécessairement successifs, certains d'entre eux pouvant être menés en parallèle ou récursivement. S'ils sont successifs, on ne les rencontre pas nécessairement dans cet ordre : la recherche d'éléments d'information par exemple peut découler d'une grille de classification préalable. D'autre part, cette suite n'est pas une suite formelle : ces processus ne sont pas logiquement dépendants. La distinction d'éléments d'information nécessite une « grille de lecture » pour décoder l'univers perçu, de même l'on ne saurait classifier sans construire des classes elles-mêmes constituées d'emblée par la réunion d'éléments. Aussi l'élaboration de l'information multicruciale par réarrangements successifs rétroagissant peut-il parfois nécessiter une destruction partielle de l'édifice cognitif avant d'aboutir à une structure informationnelle plus chargée d'ordre : le jeu de Rubik est à ce titre une métaphore intéressante, puisque pour passer d'un niveau donné d'ordre à un ordre supérieur, il est en général nécessaire de détruire et de réaménager de fond en comble ce qui préexiste pour parvenir au niveau d'ordre supérieur (c'est-à-dire pour positionner correctement une facette supplémentaire du cube).

Soulignons la grande similitude entre ces processus réunis dans une même démarche cognitive et les processus visuels : la logique multicruciale est une logique visuelle (au sens où nous avons défini le mot « logique »). Même le langage reconnaît cette parenté, puisque nous disons, lorsque nous comprenons quelque chose, que nous avons « vu ». De même, tout comme le champ visuel, la structure de la conscience est unicitaire et n'a pas de « bords », alors que la rétine et le cerveau sont granulaires et limités... etc. Des modèles neurophysiologiques du fonctionnement cérébral tendent à confirmer cette analyse : « l'essence de la fonction cérébrale consiste à catégoriser » écrit I. Rosenfield (Rosenfield, 1990), s'appuyant lui-même sur la théorie de G. Edelman qui étend, à partir de l'étude

de la perception, notamment visuelle, les concepts de réintroduction (*feed-back* généralisé à des populations d'unités neuronales interconnectées) et de catégorisation perceptive (fondée sur la discrimination) au concept de « catégorisation conceptuelle » (Edelman, 1992).

5-1 : *La validation par recoupements multiples n'est pas un critère de vérité « fort » comme peut l'être le concept de réfutabilité. Il s'agit plutôt d'un critère de cohérence.*

Lorsque l'on remplit une grille de mots croisés, on ne peut jamais être certain de la solution que l'on propose : même si « ça marche », d'autres mots peut-être pourraient aussi remplir les conditions imposées par les définitions de l'auteur et par la structure de la grille. Cela constitue aussi un problème bien connu des enquêtes judiciaires, qui, *in fine*, aboutissent à « l'intime conviction » des jurés fondée sur un faisceau de présomptions. Plus profondément, et tout aussi lourd de conséquences, non seulement des faits différents peuvent convenir à un même classement, mais encore des classements différents peuvent s'appliquer à un même ensemble de faits (ce qui est à rapprocher de « l'analyse directe » due à Poincaré, pour qui un nombre illimité de théories peut prendre en compte un ensemble donné d'observations, ou, plus fondamentalement, des conséquences du théorème de Löwenheim-Skolem, qui montre qu'un système axiomatique admet de multiples interprétations pouvant être fort différentes les unes des autres).

Le critère de vérité retenu est donc un critère de vérité « faible », acceptant un réel partiellement « voilé », un critère de cohérence plutôt, de scientificité, où le discours scientifique reste possible malgré le voile du réel parce que l'on substitue le « jusqu'à preuve du contraire, tout se passe comme si » à la vision objectiviste énonçant « le Réel est comme ceci et comme cela ».

5-2 : *La multicrucialité n'est pas seulement une démarche intellectuelle de validation ; elle est aussi une démarche inventive et opérationnelle. L'information non classifiée est inutilisable.*

Mais la multicrucialité n'est pas seulement une méthode de contrôle. Elle est aussi, et même avant tout, une méthode d'induction, d'élaboration de l'information. Car non seulement des éléments s'assemblent comme dans un puzzle mais encore là où des « trous » subsistent dans la grille, une sorte d'information potentielle apparaît pour ainsi dire en creux, négativement, indiquant ainsi une piste que la pensée peut suivre sur le chemin de la découverte, de l'exhumation de cette information potentielle. Ainsi la classification imaginée par Mendelev lui a permis

non seulement de valider/réfuter certaines connaissances chimiques (un corps pur paraît être ou non à sa place : Indium, Beryllium,...), mais encore d'inférer l'existence d'éléments ou de propriétés d'éléments encore inconnus à son époque (Scandium, Gallium, Germanium..., et même une colonne entière, surgie d'elle-même, celle des gaz rares, découverts beaucoup plus tard). Le tableau de Mendeleev est le prototype d'une démarche cognitive à la fois rationnelle et surrationnelle. En fait, elle ne devint rationnelle que lorsqu'on découvrit l'isotopie. Le surrationnel nous a livré un savoir (prédictif) avant le rationnel.

Notons que cela fut le cas lors de bien d'autres avancées de la science, où les propriétés d'un objet ont été « connues » avant même que son existence soit prouvée : découvertes du méson η (octuplet des mésons) et de la particule Ω (décuplet des baryons), de certains groupes « sporadiques » (classification des groupes simples finis) etc. L'évolutionnisme et la cosmologie font elles-mêmes largement appel à ce type de processus cognitif, fondé sur des faisceaux de présomption : la solidité de ces théories tient à l'existence de recoupements multiples entre classes de faits ; et un fait nouveau vient s'insérer harmonieusement dans l'échafaudage, ou au contraire oblige à reconsidérer tout ou partie de celui-ci... selon la démarche du « faisceau de présomptions » bien connu des enquêtes judiciaires.

Patrick Tort (Tort, 1989) avance que « tout acte élémentaire de classification met en œuvre les gestes initiaux de la pensée humaine ». Cet auteur montre, à travers de nombreux exemples, l'évolution des classifications, l'incessante confrontation, dans l'histoire de tous les grands ensembles taxinomiques comme des grands courants intellectuels, de deux processus heuristiques fondamentaux, métaphorique et métonymique, qu'il regroupe sous le terme de « raison classificatoire ». À la fois antagonistes et complémentaires, selon la double polarité de la ressemblance/dissemblance (métaphore) et de l'association (métonymie), ce couple cognitif bipolaire, distingue, dissocie le monde sous la forme d'une grille d'éléments classifiés, et en même temps compose, convolue, pour voir de façon holographique le monde dans chaque élément.

Il n'y a donc pas un moment pour la classification suivi d'un moment pour la théorisation : ces deux démarches sont complémentaires au sein d'une boucle de rétroaction : « toute percée théorique n'est véritablement fondamentale que si elle permet des progrès taxinomiques » constate H. Le Guyader à propos de la biologie. Il se pourrait que la réciproque soit vraie : tout progrès taxinomique ne serait véritablement fondamental que s'il permet une percée théorique ou un progrès heuristique.

Dans le cadre du Projet d'Encyclopédie Systémique de la Technologie, P. Gonod (Gonod, 1988, 1989) présente une analyse épistémologique fine de la taxinomie des objets techniques.

« On pourrait objecter », dit l'auteur, « *a priori*, que l'énorme documentation de connaissances techniques accumulée dans les Offices de la Propriété Industrielle constitue, en fait, une prodigieuse Encyclopédie des Techniques. Malheureusement, il n'en est pas ainsi. La classification des données, dont les brevets, correspond plus aux secteurs d'activité qu'aux principes technologiques. [...] Il manque à cette documentation la théorisation qui l'éclairerait ».

Gonod poursuit par une analyse systémique, proche de la nôtre dans son esprit et dans ses concepts, visant à concevoir ce projet comme un instrument actif de la prospective technologique, c'est-à-dire comme un outil de travail qui, après classification, puisse être réellement utilisable par l'ingénieur et le concepteur. Car l'information non classifiée est inutilisable.

C'est pourquoi dans la construction de ce texte-ci (« Cognition et multicrucialité ») nous avons nous-mêmes fait largement appel à ce type de processus, cherchant à classer, ordonner, relier le puzzle des faits qui constituent l'environnement cognitif du concept de cognition (faits issus de domaines aussi divers que l'épistémologie, les mathématiques, la neurophysiologie, l'informatique, l'éthologie, la psychologie, etc.), ce qui a nécessité l'écriture d'une dizaine de versions différentes avant d'aboutir à la version présentée ici, elle-même n'étant que le germe provisoire d'une (re)-construction perpétuellement recommencée, confirmant en cela l'excellence et la puissance du langage humain quand celui-ci désigne l'activité du chercheur par le mot REcherche (un chercheur ne cherche pas, il fait de la recherche !)⁴.

PROPOSITION 6 : *L'information est classifiable parce que l'information en valeur propre est associée à un contexte par rapport auquel elle est référencée.*

Il importe de comprendre pourquoi et comment la multicrucialité de la cognition est possible. Si la pensée consciente fait partie du monde des objets, elle doit obéir à ses lois (physiques, biologiques, etc.). Dans ce cadre, un modèle de la pensée consciente se fonde sur les propriétés du monde tel qu'il apparaît à l'expérience pour en décrire un élément, la pensée (accord des lois de la pensée par rapport aux lois de la nature) : les propriétés du monde observé nous informent sur celles de la pensée. Inversement, nous postulons, comme cela a été énoncé dès la section 1, que la réciproque est vraie : les lois de la pensée nous renseignent, nous informent sur les lois du monde que nous observons. L'univers est cohérent : il

n'y a pas de raison de penser que la pensée consciente soit un épiphénomène, une exception singulière dans l'ordre des choses. Alors ce qui est vrai pour la pensée doit être vrai pour le monde (accord des lois de la nature par rapport aux lois de la pensée). Le réel tel que nous le comprenons ne peut qu'être en accord, obéir aux mêmes structures primaires, logico-mathématiques et surrationnelles que celles du sujet qui le perçoit et l'intelligé. Si l'homme ne parlait pas le même « langage » cognitif que le monde, il n'y aurait pas de communication possible entre l'homme et le monde. Celui-ci ne serait plus voilé, mais carrément caché.

Or, dans le cadre de cette communication, aussi bien l'observation, la mesure (monde → pensée) que l'édification d'une théorie (pensée → monde) sont des actes informationnels. Il nous semble dans ces conditions que l'information soit un concept clé pour comprendre les relations entre la pensée et le monde, dont elle-même, et que ce concept doit être organisé selon l'architecture ET de la pensée ET du monde. C'est-à-dire que les propriétés qu'il peut nous sembler légitime de conférer à l'information à partir de ce que nous savons de nos propres structures cognitives doivent pouvoir s'étendre aux propriétés qui nous semblent être les siennes lorsque nous l'analysons sous l'angle d'une grandeur physique. Et réciproquement.

C'est pourquoi nous présentons dans ce qui suit une analyse de l'information qui cherche à la fois à être cohérente avec les structures cognitives tout en introduisant une conception nouvelle de cette grandeur en tant qu'objet physique.

6-1: *L'information, comme le système qu'elle représente, est analysable selon un schéma ternaire.*

Il existe une parenté entre la structure des systèmes et la structure de l'information qui les représente (Pinson, 1986). Dans le cas des systèmes, J.-L. Le Moigne (Le Moigne, 1977, p.39) décrit un objet par un point situé à l'intérieur d'un triangle de définition dont les sommets figurent un pôle « ontologique » (ce que l'objet est), un pôle « génétique » (ce que l'objet devient), enfin un pôle « fonctionnel » (ce que l'objet fait). L'analyse systémique de l'entreprise fournit un autre exemple de schéma ternaire, quand on décompose celle-ci en :

- système humain (personnels) : information cognitive, sémantique ;
- système d'information (services, informatique, réseaux) : information symbolique ;
- système physique (équipements, matières, flux) : information quantifiée, descriptive.

Un certain nombre d'auteurs ont cherché à généraliser la théorie shannonienne de l'information, qui est une théorie scalaire et probabiliste d'où la signification de l'information est exclue, pour prendre en compte ces différents aspects informationnels. D. MacKay (MacKay, 1969) dégage ainsi trois caractéristiques constitutives fondamentales de l'information :

- un contenu d'information structurel ;
- un contenu d'information métrique ;
- un contenu sélectif, qui correspond à la quantité d'information au sens de Shannon.

Techniquement, on peut remarquer que tout signal émis sous forme ondulatoire peut s'analyser selon le schéma :

$$\text{signal} = \text{fréquence} + \text{modulation} + \text{code}$$

c'est-à-dire :

$$\text{signal} = \text{physique} + \text{technologie} + \text{langage}$$

C'est à partir de cette remarque que P. Deman (Deman, 1975), dans l'analyse de la technique de compression des données, propose une description ternaire de l'information. La compression des données fait apparaître l'interconnexion profonde entre le symbole et son support physique. Par exemple la transmission asynchrone d'une image de télévision de 512×512 pixels (soit 2×9 bits d'adresse pour chaque pixel), chacun représentant 32 nuances de gris (5 bits), suppose une capacité de $512^2 \times (9+9+5) \approx 6$ Mbits/image. La transmission synchrone (par un balayage de l'image selon un standard donné) nécessite seulement $512^2 \times 5 \approx 1,3$ Mbits/image. L'information transmise est cependant la même, une partie étant portée exclusivement par le signal vidéo, l'autre étant décodée dans le cadre implicite de la convention faite sur le standard, décodage rendu possible par l'existence d'un signal de synchronisation (voir annexe 1).

6-2: *Information = Contenu d'information propre + Contenu d'identification explicite + Contenu d'identification implicite.*

Avec P. Deman, nous proposons la classification suivante : l'information possède (tableau 1) :

- a) un « contenu d'information » proprement dit, que nous appellerons « valeur propre » ;
- b) un « contenu significatif d'identification », lui-même séparable en :
 - un « contenu d'identification explicite », que nous appellerons "référence" ;
 - un « contenu d'identification implicite », que nous appellerons "contexte".

Le contenu d'information, qui lève une incertitude en répondant à une question posée, est une grandeur mesurable. Dans le cas de l'information au sens de Shannon, c'est le nombre de questions binaires qu'il faut poser, selon une démarche dichotomique (en moyenne), pour lever l'incertitude et obtenir le renseignement désiré.

Tableau 1. Répartition du contenu sémantique de différents messages

Nature du message	Identification		Information
	Implicite	Explicite	
Télévision	Standard : PAL, SECAM...	Synchro image et ligne	Amplitude de luminance
Téléinformatique	Format des mots	bits START et STOP	Caractère ASCII
Informatique	Algèbre de Boole	Adresse	Octet
Tableau Mendeleev	Lois de la chimie	n (période), G (groupe)	A (masse atomique) Z (nombre de charge)

Mais la référenciation est essentielle : supposant l'ensemble où se situe l'information topologiquement ordonné et cohérent, elle implique qu'il faille considérer l'information non pas comme une grandeur scalaire, mais plutôt comme une grandeur vectorielle : une information sur l'objet A n'a d'intérêt qu'en tant qu'information sur A par rapport à B.

Et cela n'est pas suffisant : pour qu'une information soit « compréhensible » (par l'homme ou par la machine), encore faut-il qu'il existe un contexte implicite commun à l'émetteur et au récepteur : ou, de même, pour que des données soient classifiables, il faut un espace de définition (un « espace de problème » au sens de Simon) commun à ces données, pour qu'il soit permis de les référencier (donc de les comparer) les unes par rapport aux autres.

En résumé, les notions de contenu d'information et de contenu significatif d'identification se précisent de la façon suivante :

- contenu d'information : l'information est mesurable ;
- contenu d'identification explicite : l'information est repérable ;
- contenu d'identification implicite : l'information est commensurable.

Cette classification est bien connue des sciences exactes : une grandeur peut être *mesurable* (on définit l'égalité et l'addition des longueurs par exemple), ou

seulement *repérable* (exemple : les températures centésimales, pour lesquelles on définit l'égalité mais sur lesquelles on ne peut faire d'opérations). Enfin, *commensurable* se dit de grandeurs pouvant être associées par un traitement commun : on apprend dès le plus jeune âge qu'on ne peut ajouter des choux et des carottes, à moins de considérer leur « qualité » commune, celle d'être des légumes ! Quantité, topologie (ou métrique) et qualité (ou forme) paraissent définir l'univers informationnel et autoriser, rendre possible, la multicrucialité de la pensée consciente, qui repose sur l'agencement de données selon une certaine topologie dans un espace prédéfini.

Il semble que l'on puisse associer cette classification au domaine sémantique, ce qui est une condition importante d'autocohérence, puisqu'une telle classification cherche à dépasser la perspective purement scalaire de l'information pour spécifier sa sémantique. Lors d'une traduction, diverses erreurs peuvent être commises selon que l'on fait une erreur sur le contenu de l'information proprement dit ou sur son identification. Cette identification porte à la fois sur la définition d'un mot, qui est le lien explicite (codifié dans les dictionnaires) du mot avec le reste de la langue, et sur le contexte. Par exemple, si l'on traduit correctement *amare populum* par « aimer un peuple » (en supposant, pour fixer les idées, que ces mots sont tirés d'un discours politique) on peut aussi se tromper en écrivant :

– « aimer un peuplier » : (*populus* signifie en latin peuple ou peuplier) : tout en ayant reconnu convenablement les mots, avec des définitions exactes, on commet un erreur par rapport au contexte, implicite dans ces deux mots, qui est celui d'un discours politique. C'est un *faux-sens* ;

– « en avoir marre du peuple » : le contexte est reconnu (on parle bien du peuple), mais il y a une erreur sur des définitions. C'est un *contre-sens*.

« En avoir marre du peuplier » réunirait un faux-sens et un contre-sens, tout en étant encore susceptible d'être identifiés dans l'univers sémantique du sujet. Mais dans l'expression :

– « poulpe amarée » : non seulement le contexte et les définitions sont ignorés, mais le contenu d'information lui-même s'évanouit, puisque la traduction proposée ne répond à aucune question plausible posée dans l'univers sémantique du sujet pour lever une incertitude. C'est un *non-sens*.

6-3 : *Toute information entendue dans son contexte universel est de l'information communicable.*

Réfléchir sur la cognition revient alors à décrire des processus cognitifs en usant de mots dont le sens est produit par ces processus. L'ensemble des mots avec lesquels on travaille forme le contexte culturel dans lequel on se situe.

Ainsi classer vient du latin *classis*, classe ; classier, du latin *classificare*, de *classis* et *ficare*, faire. L'anglais *classify* ne fait pas cette distinction. Il découle du lien indissoluble entre l'objet d'étude (la pensée) et la méthode d'étude (la pensée sur la pensée) qu'il n'est pas impossible qu'une science cognitive d'origine latine par exemple diffère quelque peu – non par ses conclusions, mais par sa démarche – d'une science cognitive d'origine anglo-saxonne, ou d'une science cognitive d'origine indienne, arabe, etc. Ce relativisme culturel reflétant une constatation que semblent faire les linguistiques modernes : la traduction parfaite est impossible. Chaque langue à son « génie », et quand nous pensons dans une langue nous nous imprégnons à notre insu de l'univers mental et culturel de cette langue. Comme une science de la cognition ne peut se penser indépendamment de la pensée qui la conçoit, son résultat, c'est-à-dire sa description de la pensée, est nécessairement dépendant du contexte, c'est-à-dire de son univers langagier – ce qui n'est pas en soi une mauvaise chose, la confrontation entre sciences cognitives d'origines diverses pouvant être au contraire riche d'enseignements sur la nature de la pensée⁵.

Cette étude elle-même (cognition et multicrucialité) n'est pas traduisible de façon « transparente », comme diraient les informaticiens, « pour l'utilisateur final », c'est-à-dire le lecteur, et nécessiterait au contraire quelque adaptation à l'univers conceptuel de la langue de destination. Certains auteurs, sur des sujets similaires, abordant ces confins de la connaissance, ont signalé cette difficulté. Bernard d'Espagnat (d'Espagnat, 1980) par exemple termine son article « Théorie quantique et réalité » par cette note :

« Comme les spécialistes le savent, l'exposition des problèmes de fondement des théories quantiques se heurte à certaines difficultés sémantiques très particulières. Étant donné que le présent article est publié en plusieurs langues, l'auteur tient donc à préciser que, en ce qui concerne la fidélité de l'expression de certains détails des arguments utilisés, c'est la version rédigée dans sa propre langue maternelle (autrement dit celle paraissant ici dans *Pour la Science*) qui, comme il est naturel, doit, en cas d'hésitation, faire foi ».

Autrement dit : au sein de notre contexte culturel global, nous produisons des énoncés à partir desquels nous élaborons nos constructions cognitives ; mais c'est à ce même contexte culturel global que revient la tâche de préciser la sémantique des mots qui composent ces énoncés, notamment quant à leur contenu implicite d'identification. On ne voit pas alors d'argument rationnel fixant une borne, une frontière à ce contexte culturel global : si une telle frontière existait, cela signifierait qu'une césure infranchissable couperait notre univers sémantique en deux, alors que l'expérience semble montrer (sauf cas pathologiques) l'unicité du champ de conscience.

Pour qu'une information soit communicable encore faut-il qu'elle soit compréhensible – par la connaissance implicite du contexte, et des procédures de référencement qui la relient à ce contexte. Un tel contexte n'ayant pas de borne rationnellement imaginable, toute information entendue dans son contexte universel est de l'information communicable.

Remerciements : les idées exprimées ici doivent beaucoup aux nombreuses discussions que j'ai pu avoir avec Pierre Aunac. Mes remerciements vont aussi à Alain Grandjean, qui a bien voulu relire une version préliminaire de cet article, et dont les suggestions m'ont été précieuses.

ANNEXE 1

La structure ternaire de l'information est implicite dans la théorie shannonienne. Considérons par exemple une horloge indiquant l'heure et les minutes, de 00h00 mn à 23h59 mn. Supposons qu'un observateur prend connaissance de l'indication portée par l'horloge à des instants aléatoires, avec les hypothèses suivantes :

– l'observateur connaît l'alphabet $\{0, \dots, 9\}$ et le standard convenu préalablement entre le constructeur de l'horloge et lui-même : le premier digit (à gauche du mot) est le chiffre des dizaines de l'heure, etc. Soit un format, ordonné de gauche à droite, $[h_d h_u m_d m_u]$, avec : $0 \leq h_d \leq 2$; $0 \leq h_u \leq 9$; $0 \leq m_d \leq 5$; $0 \leq m_u \leq 9$. Remarquons que cette connaissance n'est pas anodine : ainsi une date s'écrit sous forme condensée, en français, jour/mois/année, alors qu'en anglais on écrit mois/jour/année ; la méconnaissance de cette convention peut être source d'erreurs importantes.

– l'observateur est sans mémoire ; la lecture de l'heure à l'instant t_1 ne lui apporte aucune indication sur la lecture de l'heure à l'instant $t_2 > t_1$.

– il est possible de distinguer le mot codant l'heure par rapport au reste de l'univers : on ne tient pas compte de l'existence de séparateurs (par exemple un blanc), du rapport signal sur bruit (le cadran est lisible), etc.

Quelle est la quantité d'information apportée par une lecture de l'horloge ? Plusieurs calculs sont possibles :

1°) Il est clair que si l'horloge codait l'heure à l'aide d'un alphabet à $24 \times 60 = 1\,440$ symboles distincts (à la manière des idéogrammes chinois), chaque symbole porterait, les états de l'horloge étant bien sûr équiprobables, une infor-

mation $Q_1 = \log_2 1440 = 10,49 \text{ sh}^6$ (10,491853 plus exactement !). C'est l'information contenue dans la connaissance de l'heure, et non dans la connaissance du message représentant l'heure.

2°) Si l'on considère le message comme constitué globalement de 4 digits, le calcul a trait aux messages de 4 symboles émis par une source à 10 états $\{0, \dots, 9\}$. Le calcul des probabilités, effectué à partir des fréquences calculées sur $4 \times 1440 = 5760$ digits émis par jour, donne $p \approx 0,2$ pour $\{0\}$ et $\{1\}$; $0,14$ pour $\{2\}$; etc. On trouve :

$$H = \sum_{i=0 \dots 9} p(i) \log_2 p(i) = 3,087 \text{ sh/digit}$$

Soit pour des mots de longueur 4, $Q_2 \approx 12,32 \text{ sh/mot}$

Où est la différence ? Dans ce dernier calcul, on a ignoré la structure du mot, pour ne s'intéresser qu'à la fréquence des symboles qui le composent. La différence $Q_2 - Q_1$ est proche de deux shannons. Or cette quantité représente la quantité d'information nécessaire pour spécifier la position, c'est-à-dire l'adresse de chaque digit. On pourrait par exemple affecter un message complémentaire écrit dans un alphabet binaire pour déterminer l'identité de chaque digit : 00 pour h_d ; 01 pour h_u ; 10 pour m_d ; 11 pour m_u par exemple.

3°) En réalité, l'observateur connaît cette structure, qui apparaît dans la convention préalable faite sur le standard. On peut calculer la quantité d'information portée sur chaque digit pris séparément. Il vient :

$$H(h_d) = \sum_{i=0 \dots 2} p(i) \log_2 p(i) \approx 1,483 \text{ sh}$$

$$H(h_u) = \sum_{i=0 \dots 9} p(i) \log_2 p(i) \approx 3,292 \text{ sh}$$

$$H(m_d) = \log_2 6 \approx 2,585 \text{ sh}$$

$$H(m_u) = \log_2 10 \approx 3,022 \text{ sh}$$

Soit un total, par mot, $Q_3 \approx 10,68 \text{ sh}$.

En tenant ainsi compte de la structure du mot (calcul effectué séparément sur chaque digit), le résultat obtenu s'approche de Q_1 , l'information contenue dans la lecture de l'heure proprement dite. Il subsiste toutefois une légère différence entre Q_3 et Q_1 .

4°) Un autre facteur n'a pas été pris en compte : l'heure étant comprise entre 00 et 23, la lecture du chiffre des dizaines apporte quelque information sur le chiffre

des unités. Si $h_d = 2$, on sait que $0 \leq h_u \leq 3$ au lieu de $0 \leq h_u \leq 9$. La réciproque est vraie : si $0 \leq h_u \leq 3$, alors $0 \leq h_d \leq 2$, sinon $0 \leq h_d \leq 1$. Cette remarque ne concerne pas les minutes : pour tous les m_d , $0 \leq m_u \leq 9$.

Il est donc nécessaire d'effectuer un calcul de probabilités conditionnelles pour connaître la quantité d'information contenue dans la partie du message $h_u h_d$.

On trouve, avec les notations usuelles :

Quantité d'information apportée par la lecture de h_u connaissant h_d :

$$H(h_u | h_d) = - \sum_{i=0 \dots 2} \sum_{j=0 \dots 9} p(i, j) \log_2 p(j | i) \approx 3,102 \text{ sh}$$

Quantité d'information apportée par la lecture de $h_d h_u$:

$$H(h_u, h_d) = H(h_d) + H(h_u | h_d) = 4,585 \text{ sh}$$

Quantité d'information mutuelle :

$$\begin{aligned} I(h_u, h_d) &= H(h_u) - H(h_u | h_d) \\ &= H(h_u) + H(h_d) - H(h_u, h_d) = 0,19 \text{ sh} \end{aligned}$$

Autrement dit, la lecture de l'un des deux chiffres de l'heure apporte une quantité d'information de 0,19 sh sur la valeur de l'autre chiffre.

La quantité d'information totale, sur le mot, est alors :

$$Q_4 = H(h_u, h_d) + H(m_d) + H(m_u) = 10,49 \text{ sh (10,491853 exactement !)}$$

On trouve : $Q_4 = Q_1$. La connaissance précise de la structure du message permet à la lecture de porter seulement sur la connaissance de l'heure proprement dite. Cette connaissance de la structure du message est implicite, et porte sur la convention préalable faite entre l'émetteur et le récepteur.

On peut quantifier ces informations de la façon suivante : sur 12,35 sh « aveugles », il y a :

- 0,19 sh provenant du code utilisé, le système décimal codant une énumération sexagésimale.

- 1,67 sh provenant du format $[h_d, h_u, m_d, m_u]$ – heures/minutes, dizaines/unités, 12/24 h, lecture de gauche à droite, etc. – le système de numération décimal étant connu.

- 10,49 sh d'information en « valeur propre », c'est-à-dire portant effectivement sur la connaissance de l'heure qu'il est, le système décimal et le format étant connus.

Notes et références

1. (Introd.) Le mot « cognition » est lié de façon objective aux notions d'information et de processus de traitement de l'information. L'expression « pensée consciente » possède quant à elle l'avantage de pouvoir être appréhendée subjectivement de façon immédiate. Comme nous allons le voir, ces deux approches sont complémentaires dans l'objectivation du subjectif.
 2. (§ 3-1) Il importe de faire la distinction entre pensée *pré*-humaine et pensée *pro*-humaine. La première se rapporte à la préhistoire de notre espèce. La seconde représente l'ensemble des capacités cognitives *potentielles* de l'homme moderne, *avant* que ne s'effectue leur actualisation par la culture (chez les peuples) et l'éducation (chez les individus).
 3. (§ 4) En réalité, la chanson que ses soldats composèrent pour célébrer la vaillance de ce Maréchal de France, et qui se terminait par cette constatation, est restée célèbre par sa naïveté, qu'on a injustement attribuée à La Palice lui-même.
 4. (§ 5-2) Corollairement, il résulte de la nature multicruciale de telles constructions qu'il est difficile voire impossible de fragmenter un exposé systémique, nécessairement long et complexe, en morceaux de tailles plus réduites puisque tout « se tient ». La seule technique disponible pour restreindre la longueur des textes est alors celle du résumé, qui a l'inconvénient de présenter une image peu détaillée (bien que globale) dont le contenu informatif est cognitif mais non heuristique : il permet une prise de connaissance, mais pas une prise de conscience.
 5. (§ 6-3) Il est à cet égard symptomatique de constater comment se conduit la réflexion dans certains domaines des sciences cognitives. Par exemple, dans les commentaires au travail de Penrose (Penrose, 1990), figurent les contributions de 43 auteurs de culture anglo-saxonne (travaillant au sein d'organismes de recherche américains, anglais, etc.), contre une contribution d'un auteur de culture germanique (Université de Constance) et une autre d'un auteur de culture latine (Paris). Un phénomène « d'école de pensée » (anglo-saxonne) apparaît ici clairement. Mais si une école de pensée semble adéquate pour traiter certaines informations, comme l'information philosophique (ex. : l'école de Vienne), une école de pensée sur la pensée peut-elle être autre chose qu'une façon de penser ?
 6. (annexe) « sh » = shannon, unité de quantité d'information correspondant à la base 2 pour les logarithmes. Souvent appelée improprement bit (élément binaire).
- B. BEAUZAMY, La France a besoin de mathématiciens, *Pour La Science*, n° 176, juin 1992, p. 6-7. (§ 3-2-1).
- G. CHAITIN, *Algorithmic Information Theory*, Cambridge, Cambridge University Press, 1987, 178 p. Une mesure d'une quantité d'information par la complexité (ou la longueur) de l'algorithme binaire qui décrit cette information. (§ 3-2-1).
- J. DARTAN, *Franchir le Rubicon*, Paris, Éditions Sociales Françaises, 1968, 302 p. Introduction aux concepts fondamentaux de « multicrucialité » et de « logique visuelle », par un précurseur peu connu des sciences cognitives. (§ 2, 4, 5).
- J. DARTAN, *Le cœur de la raison*, Pinson G. ed., Limonest, L'Interdisciplinaire, 1992, 622 p. Une peinture « naïve » (au sens où l'on parle en éthologie d'animaux « naïfs », c'est-à-dire non acculturés) de l'âme humaine, qui met en relief les ressorts instinctuels de la raison. Contient notamment une réflexion sur les fondements psychologiques profonds des théories économiques. (§ 4).
- P. DEMAN, L'information cette inconnue, *AFCET/Interface*, mars 1983, n° 5, p. 12-18. Structure ternaire de l'information. Voir aussi du même auteur : La compression d'information à la division télécommunications, *Rev. tech. Thomson-CSF*, déc. 1975, vol. 7, n° 4, p. 723-730. (§ 6-1).

- B. D'ESPAGNAT, Théorie quantique et réalité, *Pour La Science*, janv. 1980, n° 27, p. 72-87. Exposé de la théorie du « Réel voilé », plus concis et plus clair que l'ouvrage de vulgarisation du même auteur : *A la recherche du réel*, Gauthier-Villars, 1979. (§ 3-2-2, 6-3).
- G. EDELMAN, *Bright Air, Brilliant Fire: On the Matter of Mind*, New York, Basic Books, 1992, 360 p. [Trad. : *Biologie de la conscience*, Paris, Odile Jacob, 1992. Résume les trois principaux ouvrages de l'auteur : *Neural Darwinism*, 1987, *Topobiology*, 1988, et *The remembered present*, 1989, Basic Books]. Idée de base (que F. Crick surnomme « edelmanisme neuronal » !) : l'évolution opère par « sélection » et non par « instruction ». (§ 5).
- M. FELDEN, *Le modèle géométrique de la physique*, Paris, Masson, 1992, 238 p. La géométrisation de la physique génère une multiplicité de constructions formelles indécidables, dont la sélection se révèle arbitraire. De la représentation du monde physique à celle de la réalité dans son ensemble, la connaissance comporte une dimension autoréférentielle irréductible. (§ 3-2-2).
- F. GONOD, La technologie générale, *Analyse de Systèmes*, déc. 1988, vol. 14, n° 4, p. 3-63 et juin 1989, vol. 15, n° 2, p. 13-76. Modélisation ternaire de l'information appliquée au projet d'une base de données technologiques, selon une démarche proche de la nôtre. (§ 5-2).
- M. KLINE, Les fondements des mathématiques, *La Recherche*, mars 1975, vol. 6, n° 54, p. 200-208. En quelques pages, avec clarté et simplicité, est exposée la question du fondement des mathématiques. (§ 3-2-1).
- J.-L. LE MOIGNE, *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*, Paris, PUF, 1977, 258 p. Exposé du concept de système selon un plan à recoupements multiples (voir fig. 2.6, p. 40) qui nous semble caractéristique d'une analyse de type multicrucial. (§ 6-1).
- R. LÉCUYER, L'intelligence des bébés, *La Recherche*, oct. 1991, vol. 22, n° 236, p. 1158-1165. Un autre exemple d'aptitude pré-programmée est évoqué dans cet article : l'aptitude à la catégorisation. Si cette hypothèse, qui paraît conforme au modèle d'Edelman, est justifiée, il en irait pour la modalité cognitive multicruciale comme pour la modalité primaire : ces capacités sont issues d'aptitudes innées. (§ 4-1).
- D. M. MACKAY, *Information, Mechanisms and Meaning*, Cambridge, Mass. MIT Press, 1969, 196 p. Essai, non formalisé, d'une description ternaire de l'information selon le schéma : détermination d'une forme : 1) par construction : 1a) degrés de liberté ; 1b) degré de significativité ; 2) par sélection : degré de nouveauté. (§ 6-1).
- P. MITCHELL, H. LACOHÉE, Children's early understanding of false belief, *Cognition*, 1991, n° 39, p. 107-127. Cet article a aussi pour intérêt de montrer combien est délicate, en pratique, la mise en évidence d'aptitudes innées (à commencer par une définition précise de celles-ci) chez le très jeune *Homo Sapiens*. (§ 4-1).
- R. PENROSE, *The Emperor's New Mind*, Oxford Univ. Press, 1989, 530 p. [Trad. : *L'esprit, l'ordinateur et les lois de la physique*. InterÉditions, 1992]. Commentaire (rude !) de G. Edelman (voir ref.) : « Contient des descriptions charmantes et lucides de physique étrange, de mesure quantique, etc. Mais la majeure partie du livre est presque sans rapport avec ses objectifs ». Cette critique est-elle totalement fondée ? (§ 3, 3-2-1).
- R. PENROSE *et al.*, Précis of The Emperor's New Mind: Concerning computers, minds, and the laws of physics, *Behavioral and Brain Sciences*, 1990, vol. 13, p. 643-705. Penrose s'explique à propos de son livre. Son exposé est suivi des commentaires d'une quarantaine d'auteurs souvent partisans de l'hypothèse de l'I.A. « forte » (vs quelques partisans de l'I.A. « faible »), et d'une réponse de l'auteur. (§ 6-3).
- G. PINSON, Une expérience d'enseignement interdisciplinaire, *Bull. de l'Union des Physiciens*, avril 1982, n° 643, p. 703-729. Étude du vol migratoire des fauvettes et de leurs

aptitudes à la navigation aux étoiles, dans le cadre d'un PAE (Projet d'Actions Éducatives) effectué en classe de 1^{re}. Où l'on voit quelques astronomes en herbe s'émerveiller des compétences de leurs collègues astronomes à plume. (§ 3-1).

G. PINSON, A. DEMAILLY, D. FAVRE, *La Pensée : Approche holographique*, Presses Universitaires de Lyon, 1985, 282 p. Modèle holographique de l'information, appliqué notamment au cerveau et à la pensée. Conséquences de l'application de ce modèle à la pédagogie, à l'épistémologie et à l'économie. Outre les auteurs, contributions de P. Aunac, C. Bernard, G. Duché, I. Frey, A. Grandjean, G. Mazet. (§ 2, 3-1, 3-2-1, 4-2, 5).

G. PINSON, Morphologie de l'information complexe, in Demailly A., Le Moigne J.-L. (dirs.), *Sciences de l'Intelligence, Sciences de l'Artificiel* (Coll. H. Simon, 1984), Presses Universitaires de Lyon, 1986, p. 188-198. Voir aussi dans ce livre les réflexions concernant le concept simonien de « rationalité limitée ». (§6-1).

G. PINSON, Éléments pour une Théorie quantique de l'information, in E. Bernard-Weil, J.-C. Tabary (dirs.), *Praxis et Cognition* (Coll. de Cerisy, 1988), Limonest, L'Interdisciplinaire, 1992, p. 33-51. Quantification de l'information en amplitude et en durée. Échantillonnage. Hypothèse de dualité de l'information : quantifiée et séquentielle lorsque celle-ci est communiquée, distribuée et synchrone, lorsque l'information est de façon interne, liée à un système. (§ 3-2-1).

J. PITRAT, *Métacognition. Le futur de l'intelligence artificielle*, Paris, Hermès, 1990, 402 p. « Pas d'avenir pour l'IA sans machines conscientes » : les techniques utilisées actuellement en IA sont des applications utiles, mais conduisent à des impasses $\Rightarrow$ nécessité de doter les systèmes d'un mécanisme analogue à la conscience (voir aussi PITRAT, *Science et Technologie*, 1991, n° 36). (§ 3-1).

I. ROSENFELD, *La conscience. Une biologie du moi*, Paris, Eshel, 1990, 148 p. Développe le modèle de Gérard Edelman (voir ref.) : la conscience y est joliment définie comme étant « le souvenir du présent ». (§ 5).

R. SEYFARTH, D. CHENEY, Inside the mind of a monkey, *New Scientist*, janv. 1992, p. 25-29. Une interprétation des comportements animaux qui va à l'encontre de notre tendance (humaine) à surestimer certains aspects de « l'intelligence animale ». (§ 3-1).

J.-C. TABARY, *Autonomie biologique et connaissance*, à paraître. Réflexions centrées sur le concept de dégénérescence défini par G. Edelman : un signal peut se prêter à plusieurs interprétations, une interprétation peut être issue de signaux différents. (§ 4-1).

P. TORT, *La raison classificatoire*, Paris, Aubier, 1989, 572 p. Analyse philosophique et épistémologique du concept de catégorisation. A mettre en relation avec le même concept vu sous l'angle de la psychologie cognitive (voir Lécuyer, 1991). (§ 5-2).

J.-R. VERNES, *Critique de la raison aléatoire*, Paris, Aubier, 1982, 111 p. Un beau texte de réflexion pure et dépouillée... Impression renforcée par l'absence de références bibliographiques. (§ 4-2).

P. WALLICH, Les robots autonomes, *Pour la Science*, février 1992, n° 172, p. 72-81. Pour « inventer l'intelligence », la nature a tenté deux biopolitiques opposées, très tôt séparées dans l'arbre phylogénétique : celle des vertébrés, qui mène à la pensée humaine, et celle des insectes. C'est à cette autre forme de pensée que s'essaient ici les automaticiens. (§ 3-1).

P. WOLPER, *Introduction à la calculabilité*, Paris, InterÉditions, 1991, 268 p. Quels problèmes peut-on résoudre par ordinateur, indépendamment des performances de la machine utilisée ? Et quels problèmes sont « indécidables » ? Un ouvrage à la fois rigoureux et pédagogique. (§ 3-2-1).

NEUVIÈME CONGRÈS INTERNATIONAL DE CYBERNÉTIQUE ET DE SYSTÉMIQUE

Le 9th International Congress of Cybernetics and Systems de la World Organisation of Systems and Cybernetics (WOSC) a eu lieu, du 18 au 23 janvier 1993, à la Nouvelle Delhi dans les locaux de l'Hôtel Taj Mahal. Ce congrès triennal s'était tenu précédemment à New York (1990), Londres, Paris (1984, organisé par le Collège de Systémique de l'AFCEC), Mexico, Amsterdam, Bucarest, Londres et Oxford (1969). Organisé conjointement par la Society for Management Sciences and Cybernetics et le Systems Engineering and Cybernetics Centre des Tata Consultancy Services de Hyderabad sous la direction des Drs. A. Ghosal et P.N. Murthy. Les deux présidents étaient les Drs. Nitish Sen Gupta, président de la Society for Management Science and Applied Cybernetics et F.C. Kohli, directeur des Tata Consultancy Services, qui ouvrirent le congrès avec le Dr. Pranab Mukherjee, président de la Commission du plan du gouvernement indien. Après la présentation de la WOSC par le Prof. R. Vallée, deux conférences furent données par le Prof. S. Beer (sur le thème *World in torment* et le Dr. Nitish Sen Gupta.

Les actes du Congrès ayant pour titre *Recent Advances in Cybernetics and Systems*, furent distribués, le premier jour, aux participants. Ils sont publiés sous la direction de A. Ghosal et P.N. Murthy (Tata McGraw-Hill Publishing Company, La Nouvelle Delhi). Ils réunissent des communications réparties dans de nombreuses sessions :

Intelligence artificielle (B.B. Correia, D. Dutta Majumder, E. Garner),

Méthodologie (P. Narayan, P.S. Satsangi, R. Vallée),

Problèmes de développement du tiers monde (A. Ishikawa),

Systèmes hiérarchiques (P. Auger),

Réseaux de communication (A.N. Montgomery),

Robotique et automation,

Médecine (K.N. Sharma)

Journaux et revues de systémique (B.H. Rudall),

Cybernétique en économie et dans les sciences sociales et la gestion (S. Basheer Ahmed, B.B. Bhattacharyya),

Applications de la systémique (P.N. Murthy),

Linguistique et éducation (E. Andreewsy),