

J.-D. Dessimoz, "Estimation quantitative et évaluation économique de l'information et de la connaissance", invited author in **La Société Informatique: enjeux sociaux et approches économiques**, éd. et coord. Anne Mayere, préface : Blaise Cronin, Professor and Dean, University of Indiana, L'Harmattan, Paris, mai 97.

## ESTIMATION QUANTITATIVE ET EVALUATION ECONOMIQUE DES INFORMATIONS ET DES CONNAISSANCES

J.-D. Dessimoz

École d'Ingénieurs de l'État de Vaud (EINEV), 1400 Yverdon-les-Bains, Suisse  
e-mail: dessimoz@einv.ch

### *Résumé (see below for an abstract in English)*

*Actuellement au niveau mondial, des quantités d'information très grandes s'échangent et se traitent de façon routinière. Le présent article décrit diverses manières avec laquelle l'information et, à un "méta-niveau", les connaissances peuvent s'estimer de façon quantitative. De telles métriques peuvent conduire, en particulier, à l'estimation de la valeur économique de l'information et des connaissances. Elles permettent aussi d'estimer la valeur des systèmes cognitifs associés.*

*Le concept d'"information" a été défini scientifiquement il y a longtemps. En particulier, l'estimation des quantités y relatives ne pose plus de problème de principe. Dans l'article un bref énoncé des équations de base, ainsi que d'un contexte minimal pour sa définition sont rappelés, où apparaissent les concepts de "modèle", de "message" et de "domaine". Ce qui est plus incertain, c'est l'évaluation économique de l'information. Les difficultés proviennent principalement de deux facteurs: l'immatérialité de celle-ci, et le fait qu'elle dépende à la fois, par nature, d'un domaine spécifique et d'un modèle de récepteur particulier. En pratique, de tels contextes sont extrêmement nombreux et divers, ce qui empêche l'information - très souvent - de se comporter comme une marchandise, c'est-à-dire d'obéir aux lois d'un marché: les éléments d'information prennent alors l'aspect d'objets uniques, hétérogènes plutôt que celui d'occurrences standards tirées de grandes classes uniformes.*

*L'information s'impose maintenant partout, et pourtant quelque chose de plus "puissant" encore se développe: les connaissances et les **systèmes cognitifs** artificiels (ACS) qui leur sont associés. La propriété centrale des systèmes cognitifs (c.-à-d. la **connaissance**) se trouve dans leur capacité à **générer l'information** pertinente, soit spontanément, soit en réponse à des données ou à des événements extérieurs. Jusqu'à maintenant, le manque de définitions quantitatives et précises dans ce domaine a forcé chacun, et même les experts, à limiter son appréciation de la valeur économique des connaissances à un seuil subjectif et qualitatif, les empêchant d'en estimer la valeur d'échange de façon quantitative, vérifiée de façon collective, c'est-à-dire compatible avec l'existence d'un marché. Mais les nouvelles définitions permettent un changement radical de la situation.*

*L'avance technique en micro-électronique permet aujourd'hui de faire exploser l'offre en systèmes cognitifs, pour des domaines très divers. Une troisième révolution se déroule dans le monde de l'information: là où les systèmes cognitifs peuvent déployer leurs effets, les exigences en termes de stockage, copie et transport d'information sont fortement réduites. L'une des conséquences en est que la valeur économique de l'information dans ces domaines tend à décroître de façon abrupte.*

*En plus, les systèmes cognitifs actuels ont aussi la propriété intéressante, dans de nombreuses situations, de pouvoir réagir à l'état de leur environnement, avec des performances très bonnes en niveaux de connaissance ou d'expertise, et ceci à très bas prix. Cette aptitude est nouvelle pour des outils faits par l'homme. L'une des conséquences c'est que le travailleur, dans ces domaines, voit sa valeur économique décroître. Mais comme autre conséquence, positive celle-ci, le coût décroissant des systèmes cognitifs rend plausibles bien des applications qui ne se justifiaient pas jusqu'ici, du point de vue économique, ou qui sont encore imprévues.*

### **Abstract**

*In the world, very large amounts of information are now routinely exchanged and processed. The current communication presents various ways by which information and, at a "metalevel", knowledge can be quantitatively assessed; such metrics can lead, in particular, to the economical estimation of information and knowledge values, as well as to the economical appraisal of associated cognitive systems.*

*Information has been defined scientifically a long time ago. In particular, its quantitative assessment is usually not a challenge. In the paper, a brief presentation is made of basic equations along with a minimal context for its definition, including the concepts of "model", "message" and "domain". What is more uncertain is the **economic assessment** of information. Main difficulties are related to 2 factors: immateriality of information, and fact that a piece of information is by nature bound to a given context: singular domains and receiver's models. In practice, such contexts are extremely numerous and diverse, preventing information - in many cases- from behaving as a commodity: information elements appear then as specific, heterogeneous objects rather than as standard occurrences of large, uniform classes.*

*Information is now pervasive, yet something more "powerful" is emerging: knowledge, and associated artificial cognitive systems (ACS). The core property of **cognitive systems** lies in their ability (i. e. **knowledge**) to **generate** relevant **information**, either spontaneously or in reaction to external data and events. So far, the lack of accurate and quantitative definitions has forced experts to limit their economical evaluation of knowledge to some individual, subjective, qualitative levels, preventing them from estimating quantitative, collectively verified i.e. market-compatible exchange values. But the new definitions allow a drastic change of the situation.*

*Technology in microelectronics allows today to boost supply of cognitive systems in various domains. This is the cause of a third revolution in the information world: in information domains where artificial cognitive systems can work, information requirements in terms of storage, replication and transport costs are drastically reduced. As a consequence, the economic value of information in those fields tends sharply to decrease. In addition to it, current cognitive systems have the interesting property of being able, in numerous cases, to react to their environment with high knowledge and/or expertise levels, for a very low cost. This possibility is new for man-made artifacts. As one consequence, humans in those areas tend to lose their economic value. As another, more positive consequence, the decreasing cost of cognitive systems make it possible to envision many applications that were not economically rational in the past, or which are yet unforeseen.*

### **1. Introduction**

Pendant des millénaires, l'humanité s'est principalement occupée de la gestion de la nourriture. Durant ce dernier siècle, l'industrie - c'est à dire le traitement intensif des matières physiques - est devenue particulièrement importante. Maintenant, la tendance est nettement vers une omniprésence accrue des activités liées à l'information.

De très grandes quantités d'information s'échangent et se traitent déjà, de façon routinière, dans nos sociétés industrialisées. L'impact en est très fort sur l'économie mondiale. Cependant on commence à se rendre compte que quelque chose de plus "puissant" encore est en émergence: la cognition (c.-à-d. des connaissances mises en oeuvre sur des systèmes artificiels).

Sur le plan théorique, il est très intéressant de développer des relations entre *information* et économie (voir par exemple [SEN 93, LAF 88, MAS 80] ou, plus proche de l'application, cf. [HAR 90, DID 93, DUD 90, OEC 90] ; voir aussi [FAU 93, 94]). En particulier, cette problématique concerne les bibliothèques et les centres d'information publics (par ex. [STR 92], [SCH 92]).

De façon similaire, divers auteurs ont étudié et rendu compte de leurs réflexions concernant les liens qui affectent *connaissances* et économie. Par exemple, C. S. Pierce, au début du siècle posait les premiers jalons dans le domaine [DEL 74]; plus près de nous, divers auteurs ont aussi contribué à formaliser ces relations [par ex. RES 89, MAC 84, JUS 88]. Mais jusqu'à présent, l'économie des connaissances s'est principalement comprise comme concernant l'allocation la plus efficace possible de ressources, au service de la recherche scientifique. "Le souci de répondre à nos questions de la façon la plus directe et la moins coûteuse est un aspect critique de la rationalité cognitive, dans sa dimension économique " in [RES 89, p. 14]. De plus, le manque de définitions précises et quantitatives a forcé les experts eux-mêmes à limiter leurs évaluations à des intuitions individuelles, subjectives et qualitatives quant à l'utilité des connaissances, les empêchant de mettre des chiffres sur les valeurs d'échange, qui soient vérifiés collectivement, c'est à dire qui soient compatibles avec l'existence d'un marché.

Récemment, la notion de connaissance a été définie scientifiquement, essentiellement en construisant sur deux concepts solides: l'information et le temps. Une métrique appropriée a été proposée [DES 92,93,94]. C'est le but de cette communication que de montrer comment une telle métrique peut conduire, en particulier, à l'estimation en termes économiques, de l'information, de la connaissance et des systèmes cognitifs associés (ACS: systèmes cognitifs artificiels).

L'article comprend principalement deux parties. Dans la section 2, on rappelle les bases de l'estimation quantitative des grandeurs cognitives ainsi que de celles qui permettent l'évaluation des grandeurs économiques en général. Puis la section 3 fait l'intégration des deux domaines. On y discute la valeur économique de l'information et des connaissances, ainsi que l'impact des moyens artificiels de cognition sur la société.

Cet article est une traduction et une mise au net d'un article publié précédemment en anglais par le même auteur [DES 95].

## **2. Cadre théorique**

Pour estimer des quantités d'information et de connaissance en termes économiques, on doit se trouver au croisement de deux courants principaux. L'un est de nature cognitive, c'est pourquoi on présente d'abord ici l'essentiel d'un nouveau système de mesure permettant d'estimer quantitativement les propriétés cognitives. Le second appartient au monde économique, et les définitions de base correspondante sont présentées ensuite dans cette section (§2.2).

### **2.1 Évaluation de l'information, des connaissances et d'autres propriétés cognitives, en termes quantitatifs.**

Les systèmes cognitifs ont pour propriété centrale de *traiter de l'information*. De tels systèmes peuvent en particulier se caractériser par une certaine quantité de connaissance et d'expertise. Mais souvent d'autres caractéristiques sont aussi intéressantes. Voyons ces

concepts de façon plus détaillée ( pour une discussion plus complète encore, voir aussi [DES 92, 93, 94]).

### 2.1.1 Information

L'information est un concept bien défini qui a été introduit scientifiquement il y a plus de 50 ans. L'information peut se définir comme ce qui permet à un récepteur de modifier son modèle d'un domaine donné (cf. fig. 1). En termes formels, cela correspond essentiellement à la propriété de non-prédictabilité des messages reçus. L'unité en est principalement le "bit" (Binary digIT), ou "Shannon".

$$n = \sum p_j \log_2 (1/ p_j) \quad [\text{bit}]$$

où n représente la quantité (moyenne) d'information délivrée par un ensemble de messages, chacun apparaissant avec une probabilité individuelle  $p_j$ .

Bien qu'en principe on puisse toujours estimer les quantités d'informations, en pratique des obstacles majeurs sont fréquents (par ex. ligne téléphonique coupée, journaux livrés trop tard, statistiques appropriées non disponibles, etc.). Néanmoins personne ne remet raisonnablement en question l'utilité de la théorie de l'information.

De façon similaire, l'estimation quantitative de tous les concepts dérivés de l'information, tels ceux qui sont décrits plus bas, peuvent rencontrer certaines limites pratiques (et en particulier celles résultant des incertitudes sur la mesure de quantités d'information). Mais, en soi, cela n'exclut pas leur validité.

### 2.1.2 Connaissance

La connaissance est la propriété d'un système qui génère l'information de sortie appropriée, soit de façon exclusivement spontanée, ou alors en réaction à certaines informations incidentes. La fig. 2 affiche un exemple simple où une table de fonctions mathématiques (c'est-à-dire de l'information) peut être remplacée par l'utilisation d'une calculatrice de poche (c.-à-d. un système cognitif artificiel).

Une quantité de connaissances ne peut s'évaluer que sur un certain domaine, et être "appropriée" signifie ici que l'information de sortie est effectivement correcte, c'est-à-dire appartient à ce domaine.

Quantitativement, la connaissance est mesurée en fonction de la taille du domaine. Et cette dernière correspond à l'ensemble de toutes les associations entrée-sortie possibles.

$$K = \log_2 (2^{n_i} * n_o + 1) \quad [\text{lin}]$$

où K décrit la quantité de connaissance,  $n_i$  est la quantité d'information qui entre dans le système cognitif, et  $n_o$ , la quantité d'information qui en sort. Le nom de l'unité, le "lin", s'obtient en contractant l'expression "Logarithme de l'INformation".

En bref, et en parlant de façon approximative, la connaissance est la propriété d'un système "qui fait juste".

### 2.1.3 Expertise

Les systèmes dotés de connaissances (c.-à-d. les systèmes cognitifs) ont besoin de temps pour fonctionner. Mais le concept de connaissance ne dépend pas du temps de façon quantitative.

Pour caractériser les performances des systèmes cognitifs non seulement en termes de connaissance mais aussi en fonction du temps de traitement, il est utile de considérer un autre

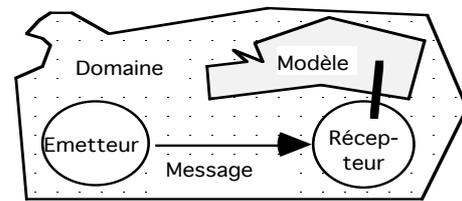


Fig. 1. Éléments importants pour définir l'information



Fig. 2. Exemple: L'information (gauche) peut souvent être générée par des systèmes cognitifs (droite); parfois en quantité potentiellement énorme

concept, celui d'"expertise". L'expertise est la propriété de systèmes cognitifs qui ont un certain niveau de connaissance et qui traitent l'information rapidement.

$$E = K f$$

où E est la quantité d'expertise, et f la fluence, ou vitesse de traitement, c.-à-d. l'inverse du temps moyen de traitement entre messages correspondants en entrée et en sortie.

En bref, l'expertise est la propriété d'un système "qui fait (juste et) vite".

Parmi les proches synonymes pour ce mot expertise, nous trouvons en français les expressions "savoir-faire", "compétences" ou encore "art".

#### 2.1.4 Autres propriétés cognitives

De façon similaire à ce qui a été fait plus haut, d'autres concepts cognitifs ont été définis sans ambiguïté: apprentissage (variations positives en quantités d'expertise), expérience (quantité d'information reçue sur un domaine donné), intelligence (taux d'apprentissage en fonction de l'expérience), abstraction (rapport de la quantité d'information d'entrée sur celle de sortie), concrétisation (inverse du rapport précédent), mémoire (définition restrictive: permanence de l'information et, en conséquence, contribution directe nulle en termes de connaissance et d'expertise), complexité (quantité d'information nécessaire à décrire exhaustivement un domaine), etc.

## 2.2 Bases pour l'estimation de valeur

Mesurer un bien en unités physiques ou cognitives c'est faire un pas important vers son évaluation économique. Mais ce n'est pas suffisant. On passe en revue ci-dessous l'essentiel de ce qui, fondamentalement, fait la valeur d'un objet (cf. cours de base en économie). Nous donnons ici au mot "objet" un sens large, recouvrant aussi bien des produits de nature physique que d'autres, immatériels, tels qu'un élément d'information, de connaissance ou que des services.

### 2.2.1. Définition classique de la valeur économique

Dans nos économies de marché, les valeurs économiques sont surtout dictées par les équilibres globaux offre/demande. Et il y a un lien évident entre les valeurs d'utilité perçues individuellement et la création collective d'un mouvement de demande.

Classiquement, les valeurs économiques sont réparties en deux groupes: valeurs d'utilité et valeurs d'échange. Dans le premier cas, les aspects qualitatifs, individuels et subjectifs dominant. Le second groupe au contraire est principalement caractérisé par des aspects quantitatifs et collectifs, et correspond directement aux prix du marché.

*Valeur d'utilité*. La valeur d'utilité est la raison première qui pousse un consommateur à acheter un bien. Elle est très subjective et dépend en particulier de la situation et de l'expérience individuelles, des éléments de preuve disponibles (raisonnement logique) ou de l'opinion d'autres personnes qui sont elles-mêmes (subjectivement) perçues comme crédibles.

Par nature, la valeur d'utilité est plutôt qualitative: les gens aiment ou ont besoin d'un bien; ou ils n'en veulent pas (en fin de compte, ils achètent ou n'achètent pas). Si ils ne veulent pas acheter ce bien, c'est le cas simple. Mais s'ils veulent en faire l'acquisition, un autre problème en général apparaît: un choix doit s'opérer face à d'autres achats potentiels qui ne peuvent pas être tous réalisés simultanément, vu les limites du consommateur en termes de pouvoir d'achat.

Pour cette raison, l'utilité d'un bien est perçue d'une façon qui dépend fortement de la part du pouvoir d'achat qui serait engagée pour son acquisition, c'est-à-dire de son coût. Cela conduit au concept discuté ci-dessous: la valeur d'échange.

*Valeur d'échange*. Intuitivement (et historiquement), la valeur d'échange est (a été) perçue comme dépendant principalement de la rareté, mais la vue bien acceptée actuellement est

différente. Le point critique est ici le poids relatif, sur le marché, de la demande par rapport à l'offre.

Valeur d'utilité et valeurs d'échange dépendent l'une de l'autre: si un objet est perçu comme utile, par beaucoup de consommateurs, sa demande va croître et, au moins dans un premier temps, sa valeur d'échange va croître également. Réciproquement, si un produit prend de la valeur en terme d'échange (c.-à-d. que son prix augmente), la valeur d'utilité qu'on en perçoit diminue. La valeur d'échange est donc le prix particulier assurant l'équilibre global sur le marché entre offre et demande.

Un effet additionnel de régulation se remarque en général: des valeurs d'échange élevées (c.-à-d. des augmentations de prix) tendent à attirer des sources de production supplémentaires, ce qui en conséquence augmente l'offre et par là réduit le prix.

### 2.2.2. Estimation de la valeur d'échange

Comme déjà établi il y a un siècle, l'estimation de valeur d'échange est essentiellement quantitative (métrique). Le prix d'un bien est valable "pour une certaine quantité", que ce soit exprimé en mètres carrés, en livres, en heures, en unités, en actions, etc. Bien sûr une telle unité, seule, n'est pas suffisante, et les singularités du marché et du bien doivent être prises en considération avec le niveau de détail approprié (domaine de validité).

Considérons le cas d'une action. Sa valeur dépend de la société correspondante (par ex. VRDE Ltd), des particularités de la Bourse (par ex. à Toronto), et de la date (par ex., à l'ouverture, le 1<sup>er</sup> août 1996). Comme deuxième cas, considérons l'unité de poids; la valeur d'une livre n'a guère de sens si d'autres caractéristiques telles que la nature (par ex. steak de boeuf, 1<sup>er</sup> choix) et le lieu de la transaction (par ex. supermarché Casino) ne sont pas spécifiés.

Réciproquement, c'est-à-dire si aucune métrique adéquate n'existe ou n'est prise en compte, l'estimation de valeur d'échange devient hautement subjective. Imaginons combien il serait difficile et aléatoire pour des agents commerciaux d'échanger des actions sans les compter, ou pour les gens de faire le commerce de la viande sans balances! Et pourtant c'est cette situation qui est typique aujourd'hui dans les domaines des connaissances et de l'expertise...

L'estimation de valeur est faite facilement pour les biens ayant un marché: la lecture directe de la situation sur le marché, et des outils statistiques simples apportent une réponse rapide. Pour les marchés prospectifs, d'autres approches sont nécessaires, telles que consultations d'experts (études de Delphes), enquêtes auprès de consommateurs potentiels, ou modèles économétriques.

Les modèles économétriques peuvent sembler fournir l'outil définitif mais, comme cela est bien connu en prévision météorologique ou plus généralement dans la théorie du chaos, il y a toujours une limite fondamentale sur la prédictabilité. Par exemple dans le cas de l'estimation de valeur économique, il faut bien constater que des variations importantes sur le marché sont souvent le résultat d'un *petit* ensemble d'événements a priori *mineurs*; voire d'un seul d'entre eux. Or il est tout à fait impossible en pratique de suivre l'état individuel de tous ces facteurs ainsi que de modéliser exactement toutes leurs interactions possibles.

Ces dernières limites s'appliquent aussi bien au cas des biens courants qu'à celui de l'information ou que pour les produits encore quelque peu exotiques que sont les biens cognitifs. Mais ces derniers ont d'autres particularités, qu'il vaut la peine d'examiner. Nous le faisons dans la section ci-dessous (cf. § 3).

### 2.2.3. Limite à notre discussion

Notre analyse se limite ici aux facteurs-clefs, pour le cas d'une économie de marché libre. Il peut cependant être utile de rappeler certains problèmes connus dans ce genre d'approche.

Les économies purement conduites par le marché souffrent de plusieurs défauts: risque de cartels, non prise en compte du bien-être social et d'autres aspects éthiques, distorsion de l'horizon temporel, difficulté de démêler les responsabilités, conflits possibles entre intérêts privés et intérêts généraux, menaces pour la santé et pour la vie, comportement irrationnel du consommateur, etc.. Ces restrictions ne sont pas seulement valables pour les biens physiques mais s'appliquent aussi aux biens immatériels, tels que les services ou les connaissances.

### **3. Estimation quantitative de valeur économique. Particularités des systèmes d'information et de cognition**

Les systèmes cognitifs traitent de l'information. Voyons d'abord comment l'information apparaît, d'un point de vue économique; ensuite nous ferons de même pour les systèmes cognitifs.

#### **3.1 Information**

Alors que le concept d'information était présenté ci-dessus sous un angle technique, on passe en revue ci-dessous ses propriétés majeures d'un point de vue économique. En conclusion, on montre que les incertitudes sur l'estimation de valeur de l'information sont limitées en pratique par des critères de coûts et/ou de possibilités de gain.

##### *3.1.1 Bit et unités apparentées*

L'unité bien acceptée, bien fondée sur le plan théorique, pour mesurer les quantités d'information, c'est le "bit". Mais toutes sortes d'unités dérivées sont aussi acceptables. De façon analogue au mètre, qui est souvent remplacé sans perte de substance par le millimètre, le micron, l'année-lumière, le mille, le pied, le pouce, ou d'autres unités encore, beaucoup d'unités alternatives existent en pratique pour mesurer l'information. Pour en citer quelques unes: octet, "nibble", dit (Decimal digIT), caractère, mot, page, image, cédé, film, etc.

Sur le marché, les prix sont indexés sur des unités qui ne mesurent pas seulement les quantités d'information en jeu, mais qui décrivent aussi certaines particularités du domaine (par ex. "page" représente surtout une quantité d'information unité, mais en plus cela désigne implicitement la forme des messages, qui est ici celle du texte écrit).

##### *3.1.2 Durée de vie brève*

Par nature, l'information apporte de la surprise, des messages imprévus. Parmi les conséquences, on note que la "durée de vie" de l'information est très courte. En principe, une deuxième copie d'un message donné, apportée au même récepteur, ne lui amène aucune information du tout. Dans ce sens, l'information est un bien très périssable.

##### *3.1.3 Subjectivité*

La théorie montre qu'un message donné peut comporter plus ou moins d'information, suivant ce que le récepteur sait déjà et ce qu'il peut prédire (état actuel du modèle élaboré par le récepteur).

Mais cela n'est pas singulier. En économie, presque tous les biens (en particulier, les biens matériels) ont une valeur subjective hautement variable. En fait, si les valeurs perçues ne variaient pas d'un individu à l'autre, aucune transaction ne serait jamais faite!

##### *3.1.4 Hétérogénéité de l'information*

Pour qu'un marché existe, il faut une certaine quantité de biens standards à échanger. Les objets qui sont uniques ont une volatilité très grande, parce que l'estimation subjective d'utilité des agents procédant à la transaction n'est pas lissée par la loi des grands nombres, et parce que par définition, l'effet régulateur d'ajustement des ressources productives ne peut pas être attendu.

Il se trouve que l'information en soi n'est pas homogène. Au contraire, elle dépend fortement du domaine considéré. Par exemple un mégabit (1Mb) d'émission télévisuelle est très

différent d'1 Mb de musique. Et comme l'audimat l'indique tous les jours, 1 Mb d'émission télévisuelle peuvent avoir des valeurs d'utilité très différentes suivant les spécificités du domaine: canal, temps, acteurs, producteur, etc.

Néanmoins, certains domaines sont suffisamment grands pour que des marchés se développent, comme le prouvent d'innombrables transactions quotidiennes, où de l'information pure s'achète et se vend.

### 3.1.5 *Immatérialité*

En pratique, l'information a besoin en général d'un support physique. Comme telle, elle prend la forme d'états particuliers du monde réel, soit en tant que phénomènes primaires (contenus sémantiques immédiatement confondus avec la réalité), soit au moins comme phénomènes représentatifs (symboles, description conventionnelle de la réalité ou de mondes non existants, comme cela est souvent le cas dans les romans, la science fiction, la logique modale<sup>1</sup>, etc.).

L'essence de l'information est immatérielle. Cette vue est cohérente avec les définitions et les équations données plus haut. C'est aussi évident lorsqu'on observe le pouvoir de représentation virtuellement illimité du langage ou d'autres moyens d'expression tels que le dessin ou les graphiques animés.

En somme, bien que l'information se fixe sur des supports matériels (par ex. les livres, la statue de la Liberté, les signaux électromagnétiques, les cédés, etc.), ces derniers ont en général un coût économique mineur. La non-matérialité de l'information a d'importantes conséquences économiques, et en particulier les suivantes:

- copie/diffusion à "coût nul"; cette propriété a permis l'industrie de l'imprimé, ce qui a provoqué la première révolution dans le monde de l'information.
- transport à "temps nul"; cf. les techniques de télécommunication, qui ont amené une deuxième révolution dans le monde de l'information.

Parmi les autres conséquences importantes en économie, notons la difficulté nouvelle de contrôle de la propriété et de la protection contre le vol.

### 3.1.6 *Information "directe", et information concernant les connaissances*

Schématiquement, l'information peut se classer en deux groupes. Dans le premier, le principal, l'information se compose simplement de données, qui sont immédiatement utiles pour l'agent récepteur. C'est ce qu'on appelle ici l'information "directe". Dans le deuxième groupe, l'information est plus subtile: elle décrit des connaissances, c'est à dire, comme brièvement présenté plus haut (§2.2), qu'elle représente des structures et/ou des procédures cognitives qui, lorsque réalisées et mises en oeuvre, génèrent enfin les éléments d'information utiles au récepteur. La limite entre les deux types d'information n'est cependant pas toujours très nette puisque, suivant le point de vue, un message peut parfois être classé des deux façons: ce qui est de l'information directe pour un récepteur peut être la représentation de connaissances pour un autre<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup>La logique modale ne se limite pas à une vue unique, objective des faits. Elle prend simultanément en compte des réalités multiples, principalement virtuelles. En particulier les mondes passé, futur, ou des variantes hypothétiques (if-worlds) peuvent être traités dans un cadre conceptuel commun.

<sup>2</sup>Ce paradoxe est résolu si l'on considère que toute information n'a de sens que dans un domaine donné, et que les domaines auxquels ont peut s'intéresser sont en nombre illimité.

### 3.1.7 Valeur économique de l'information

Comme vu ci-dessus, le concept d'information est bien compris, et il a des propriétés très différentes de celles des biens physiques. Néanmoins, estimer la valeur économique pour un élément d'information est une tâche qui est fondamentalement ni plus facile ni plus difficile que pour les biens matériels. Sur tous les marchés où de l'information s'échange (cf. banques de données, bibliothèques, marchandage de "scoops" pour les médias, fournisseurs de prévisions météo, centrales audiovisuelles), la pratique est similaire à celle qui prévaut pour les biens matériels. Par exemple, de la même manière qu'une once d'or ou qu'une tonne de café peut fluctuer en valeur, de même la valeur de l'information peut changer.

Deux façons souvent utilisées pour estimer la valeur économique des biens matériels sont indirectes. Elles sont pleinement applicables pour l'information et les connaissances aussi. La méthode consiste à évaluer les termes suivants:

- *les coûts effectivement encourus* pour acquérir le bien (information, connaissances, ou autre);
- *les gains effectifs ou attendus*, éventuellement comme alternative à d'autres approches envisagées.

## 3.2 Systèmes cognitifs

Dans le monde économique, les systèmes cognitifs ont presque exclusivement été des hommes jusqu'à récemment. Depuis quelques décennies, des systèmes cognitifs artificiels (ordinateurs, processeurs numériques, ...) ont commencer à apparaître, mais ce n'est que dans les derniers dix ans, avec les progrès en micro-électronique, que l'impact a été significatif dans la société. L'impact a été fort sur l'économie de l'information, mais aussi directement dans les activités à fortes composantes cognitives, où les travailleurs sont déplacés et où de nouvelles applications sont envisagées. Avant de traiter le cas des systèmes cognitifs artificiels, voyons celui de l'homme.

### 3.2.1 Économie des systèmes cognitifs 1. Cas de l'homme

Pendant très longtemps, l'homme a travaillé comme une source importante d'énergie mécanique autant que comme système cognitif. De nos jours, à l'exception de domaines limités (par ex. les sports), son rôle professionnel est principalement lié à ce dernier type d'activités - la cognition. De bons niveaux de performance en termes de connaissances et d'expertise dépendent du domaine considéré et peuvent s'atteindre suivant divers modes d'apprentissage.

Une vue économique de la situation fait clairement apparaître que la valeur des travailleurs a été affectée par des équilibres offre/demande. Pour réduire le coût des experts, des actions appropriées ont été prises dans le système éducatif et dans la dissémination des savoir-faire (par ex. services de diffusion publics, brevets). Au contraire, des corporations professionnelles ont souvent artificiellement gardé ou augmenté la valeur de leurs membres en provoquant une demande accrue (par ex. publicité) ou en forçant par des règlements ou d'autres actions une offre restreinte (par ex. systèmes de licences, lobbying, maintien du secret).

### 3.2.2 Débuts des systèmes cognitifs artificiels

Jusqu'à récemment seuls les hommes et, dans une mesure très limitée, certains animaux, ont pu être opérationnels sur le plan cognitif. Mais maintenant, en plus d'eux, le progrès en électronique et en traitement de l'information (c.-à-d. d'après les définitions ci-dessus, le génie lié aux connaissances, ou en bref, le génie cognitif) a amené des systèmes artificiels très nombreux et extrêmement performants.

Les systèmes cognitifs artificiels prennent l'aspect de matériel électronique (par ex. circuits analogiques ou numériques, tels que modulateurs de signaux ou portes logiques) ou

d'appareils programmables (ordinateurs, calepins électroniques, microcontrôleurs pour la commande de processus industriels, ou pour enregistreurs vidéo, etc.).

Les niveaux de performances en termes d'expertise atteignent de façon courante, pour les ACS, des dizaines de millions de [lin/s]; pour un coût inférieur à \$100. En comparaison, le niveau de performances des travailleurs humains, dans les domaines relevant de la perception, sont à peu près similaires. Mais par contre, dans les activités cognitives conscientes, telles que la gestion du langage ou le raisonnement logique, les performances de l'homme sont bien inférieures, comme les recherches en psychométrie l'attestent; elles se limitent à quelques centaines de lin par seconde seulement.

Ce qui manque aujourd'hui dans la plupart des cas aux ACS, ce sont les connaissances requises afin de projeter leur domaine cognitif "naturel" sur d'autres domaines jugés très utiles par les utilisateurs potentiels. En d'autres mots, comme dans la plupart des cas pour l'homme, la puissance cognitive est là, mais beaucoup de développements méthodologiques (cf. éducation, formation, recherche) restent à faire.

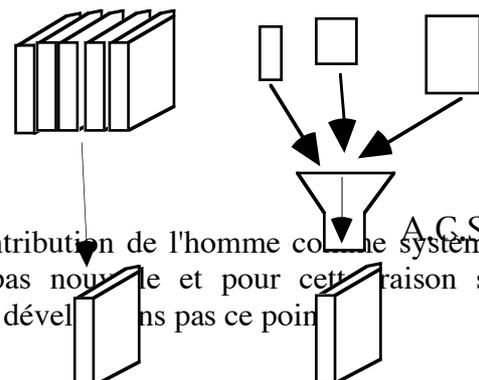
### 3.2.3 Impact sur l'économie de l'information

La copie d'information était présentée plus haut comme gratuite ("coût nul"), et son transport immédiat ("temps nul"). Ce n'est pas tout à fait vrai. En termes relatifs, les coûts (du support par rapport à celui de l'information) et les délais (temps de transport de l'information par rapport aux échelles de temps humaines) peuvent vraiment être très petits. Mais ils ne sont pas strictement nuls. Et dans notre monde développé, les copies et les transferts d'information sont si nombreux que même ces valeurs minimales, accumulées, finissent par atteindre globalement des quantités considérables voire parfois prohibitives. C'est là que la cognition aide.

La cognition et, physiquement parlant, les systèmes cognitifs ont le pouvoir de réduire par des ordres de grandeurs les quantités d'information à stocker, copier, et transporter pour une tâche donnée. Il résulte de leur définition que de tels systèmes peuvent *générer* l'information. En simultané, autant de fois qu'ils existent. Et immédiatement là où ils sont. Par l'impact énorme que cela a sur l'économie de l'information, les systèmes cognitifs<sup>1</sup> sont la cause d'une troisième révolution.

Par exemple, les calepines de poche ont remplacé les tables de trigonométrie et de logarithmes. Le système français "Minitel" (principalement un ensemble d'ACS) a remplacé des tonnes et des tonnes de Bottin (information brute). A cause des ACS (c.-à-d. implicitement de la cognition) les échanges d'information sur les réseaux risquent aussi d'exploser *moins vite* que beaucoup d'observateurs ne le craignent aujourd'hui. Déjà très souvent de nos jours les services de télécopie remplacent les conversations traditionnelles sur la ligne téléphonique, ce qui réduit grandement la quantité brute d'information transmise. En fait le changement le plus significatif aujourd'hui dans le monde des communications c'est moins l'acheminement de l'information à travers le réseau (lignes de cuivre, ondes radio, fibres optiques, etc.) que tous les ACS qui y sont connectés (répondeurs, boîtes aux lettres électroniques, relais de routage, etc.).

Comme cas extrême, pour illustrer le potentiel de la cognition et son impact possible sur la gestion de l'information, on peut imaginer une bibliothèque capable de *générer* pour l'utilisateur la plupart des



<sup>1</sup>On parle ici de systèmes cognitifs *artificiels*. La contribution de l'homme comme système cognitif est aussi très importante mais elle n'est pas nouvelle et pour cette raison sa contribution est déjà intégrée dans l'économie; nous ne développons pas ce point.

Fig. 3. Vue schématique d'une bibliothèque "cognitive". Mise à disposition d'information

informations qui l'intéressent. Appelons-la la "bibliothèque cognitive": sur la base d'une version unique d'un livre stockée, elle générerait automatiquement, sur demande, de nombreuses variations: traductions en allemand, en russe, en japonais; des résumés courts, ou longs; des listes de mots-clefs; des cartes de références, etc.. Ou l'on aurait en stock des partitions musicales, des profils d'instruments musicaux, d'auditoria, et d'artistes bien connus. Sur cette base elle générerait, sur demande, un mix particulier: par ex. Michael Jackson chantant "la Marseillaise" à la "Scala" de Milan! De tels exemples sont extrêmes, mais quelque chose de la même nature a déjà commencé (par ex. l'établissement de listes de références sur la base de critères multiples définis par l'utilisateur; la recherche automatique d'informations choisies).

L'impact formidable des systèmes cognitifs artificiels ne se limite pas au monde de l'information. Leurs effets sont importants sur l'ensemble de la société.

### 3.2.4 *Économie des systèmes cognitifs 2. Cas des systèmes cognitifs artificiels (ACS).*

Les ACS ont de nombreux aspects qui les rendent préférables à l'homme dans bien des domaines. Trois de leurs avantages les plus évidents sont discutés ici: la facilité de multiplication, les exigences minimales en coûts physiques et environnementaux, et la possibilité d'en assurer le transport de façon virtuelle.

*Facilité de multiplication* Les techniques micro-électroniques permettent aujourd'hui de produire en un seul lot des dizaines de milliers de circuits intégrés complexes. Ces ACS sont extrêmement bon marché. De plus, ils peuvent être conçus de façon à pouvoir être adaptés ensuite à des domaines de connaissances variés, de façon - sur ce point- similaire au cas de l'homme. La spécialisation se fait par programmation, et là aussi la multiplication d'un système est quasi-gratuite.

*Exigences minimales en ressources physiques et environnementales.* Les ACS actuels se caractérisent par des exigences très petites sur le plan énergétique. Ils sont de volume très petit. Le matériau principal en est le silicium, qui existe sur terre en quantité pratiquement illimitée et en accès immédiat.

*Transport de l'information plutôt que des ACS.* Les ACS actuels tendent à être génériques. Ils peuvent échanger, à des distances considérables, des connaissances sur un domaine particulier. Ainsi, le transport physique de systèmes cognitifs peut en effet se remplacer par la télécommunication (par ex. transmission de "programmes"). Ceci a aussi été le cas pour l'homme par le biais des représentants locaux. Mais les performances des ACS en termes de précision, taille des domaines, vitesse et coût diffèrent par plusieurs ordres de grandeurs, dans le sens positif.

## 4. Conclusion

L'essentiel du concept d'information, et certains de ses aspects économiques ont été discutés. Bien que l'information diffère des biens physiques par plusieurs propriétés (en particulier, l'immatérialité), le processus d'évaluation de sa valeur économique reste similaire dans les deux cas.

En plus des propriétés les plus substantielles pour l'information, celles pour les *systèmes cognitifs* ont aussi été évoquées. Entre autres éléments, on en tire une métrique rigoureuse qui permet une estimation quantitative claire de leur performances. Les techniques micro-électroniques permettent aujourd'hui d'accroître énormément l'offre de systèmes cognitifs dans les domaines les plus variés. Et la présente communication montre qu'ils ont beaucoup

d'impact en termes d'*économie de l'information*, aussi bien qu'en termes de comportement réactif<sup>1</sup>.

Après l'invention de l'imprimerie (Gutenberg) et, longtemps plus tard, l'utilisation généralisée des télécommunications électroniques, l'arrivée actuelle des systèmes cognitifs apporte une troisième révolution dans le monde de l'information: *là où les systèmes cognitifs artificiels peuvent travailler, les exigences en termes de coûts de stockage, de reproduction ainsi que de transport sont réduites de façon spectaculaire*. Cette révolution affecte la valeur économique de l'information, qui tend, dans ces cas là, à diminuer de façon abrupte (par ex. quelle est aujourd'hui la valeur d'une table des logarithmes?). Sous cet aspect, en dernière analyse, la valeur d'un système cognitif devrait être celle de l'information qu'il fournit.

Mais en plus de leur impact sur l'économie de l'information, les systèmes cognitifs actuels ont la propriété intéressante de pouvoir *réagir* aux changements/stimuli de leur environnement, avec de hauts niveaux d'expertise, et pour un coût très bas. Cette possibilité de comportement réactif complexe est qualitativement nouvelle pour des machines faites par l'homme. Comme conséquence parmi d'autres, le travailleur humain, dans ces domaines, voit sa valeur économique décroître. Comme autre conséquence, plus positive celle-là, le coût en constante diminution des systèmes cognitifs permet d'envisager beaucoup d'applications qui n'étaient pas économiquement rationnelles dans le passé (par exemple, l'ouverture 24h par jour des guichets de distribution de billets de banque, dans des milliers d'endroits); cela ouvre aussi d'autres champs qui sont encore imprévus. Considérant le potentiel des SCA comme systèmes réactifs, leur valeur économique doit aussi être estimée sous cet aspect (c. à dire indépendamment des questions d'information). Lorsqu'ils sont en concurrence avec des hommes, sur le même terrain, leur valeur a une limite supérieure ultime: le coût des personnes qu'ils pourraient remplacer.

L'Homme a perdu une grande part de son utilité économique lorsque les sources modernes d'énergie ont été maîtrisées. Son rôle dans les activités cognitives est maintenant de plus en plus mis en question face à des systèmes artificiels économiquement plus attrayants. Si les forces du marché étaient laissées seules à décider, elles attribueraient probablement, dans la nouvelle phase qui approche, une valeur économique aux gens - c. à d. finalement distribueraient les richesses - sur une base principalement émotionnelle<sup>2</sup>. Cette évolution devrait cependant pouvoir être maintenue sous contrôle par des politiques de régulation appropriées.

### Références

- [CRO 90] "The knowledge industries : levers of economic and social development in the 1990s", Proceedings of an international conference held at the Inter-University Centre for Postgraduate Studies, Dubrovnik, Yugoslavia, 29 May-3 June 1989 / ed. by Blaise Cronin and Neva Tudor-Silovic London : Aslib, cop. 1990 IX, pp. 332
- [DEL 74] C. F. Delaney, "Peirce on 'Simplicity' and the Conditions of the Possibility of Science", in L. J. Thro ed., History of Philosophy in the Making, St.-Louis, 1974
- [DES 92] J.-D. Dessimoz, "Towards a Theory of Knowledge", Proc.3rd Ann. Conf. of the Swiss Group for Artificial Intelligence and Cognitive Sciences ( SGAICO'91), Inst. for Informatics and Applied Mathematics, Univ. of Bern, Switzerland, Vol. IAM-91-004, pp. 60-71, March 1992.

---

<sup>1</sup>Ces développements sont si importants qu'ils justifieraient que l'on jalonne maintenant un nouveau domaine technique: celui de la cognitive.

<sup>2</sup>Clairement, cette évolution a déjà commencé il y a longtemps pour les "stars", dans divers domaines du divertissement (par ex. le cinéma, ou les sports); elle continue peut-être maintenant de se répandre dans d'autres champs d'activités sociales (cf. les leaders politiques, les grands communicateurs religieux, etc.).

- [DES 93] J.-D. Dessimoz, "Proposition de définitions et d'une métrique pour les sciences cognitives", Congrès bisannuel de l'AFCEC (Assoc. française des sciences et technol. de l'inform. et des syst.), Versailles, France, 8-10 Juin 1993.
- [DES 94] J.-D. Dessimoz and Giovanni Mele, "Performance assessment of cognitive systems; case of elementary mobile robots", Proc. ECAI 94, 11th European Conference on Artificial Intelligence, Amsterdam, NL, 7-12 Aug., A. Cohn. ed., John Wiley & Sons, pp. 689-693, 1994 .
- [DES 95] J.-D. Dessimoz, "Quantitative Assessment and Economical Evaluation of Information and Knowledge", Actes du Colloque International Economie de l'Information, ENSSIB (Ecole Nationale Supérieure des Sciences de l'Information et des Bibliothèques), Lyon, France, 10-12 Mai, 1995, pp. 185-200.
- [DID 93] Guide économique et méthodologique des SIG / Michel Didier, Catherine Bouveyron Paris : Hermes, 1993, pp 330 (Collection géomatique), Conseil National de l'Information Géographique ISBN 2-86601-384-0
- [DUD 90] The economics of library and information services : an anglo-german perspective / ed. by Edward Dudley ... (et al.) ; a project of the Anglo-German Foundation for the Study of Industrial Society London : Anglo-German Foundation for the Study of Industrial Society, cop. 1991 VII, pp. 317
- [FAU 93] Recherches sur l'économie de l'information : aperçu de la littérature américaine / Roberta Fausti (La Ravoire) : Enssib-Cersi, cop. 1993 61 p. : ill. ; 24 cm ISBN 2-910227-00-6
- [FAU 94] Roberta Fausti, "Recherches sur l'économie de l'information; aperçu de la littérature américaine", Editions de l'ENSSIB, Villeurbanne, France, 1994, pp. 64.
- [HAR 90] The role and importance of managing information for competitive positioning in economic development / Keith A. Harman Norwood, N.J. : Ablex Publishing Corporation, 1990, pp150 (Information management, policy, and services) ISBN 0-89391-584-X.
- [JUS 88] The cost of thinking : information economies of ten Pacific countries / ed. by Meheroo Jussawalla, Donald M. Lamberton and Neil D. Karunaratne Norwood, N.J. : Ablex Publishing Corporation, cop. 1988, pp249
- [LAF 88] The economics of uncertainty and information / Jean-Jacques Laffont ; transl. by John P. Bonin and Helene Bonin Cambridge, Mass. (etc.) : MIT Press, cop. 1988 VIII, pp. 289
- [MAC 84] Machlup, F., "Knowledge: its creation, distribution and economic significance", No 3, Economics of Information and Human Capital, Princeton University Press, 1984
- [MAS 80] Masuda, Y. "The information society as post industrial society", Institute for the Information Society, Tokyo 1980
- [MCM 90] MacMorrow, Noreen, "Public policy and the knowledge industries in the UK" in "The Knowledge Industries", Blaise Cronin and Neva Tudor-Silovic, eds, Levers of Economic Development in the 1990's, Inter-University Centre for Postgraduate Studies, Dubrovnik, Yougoslavia 1989 101-114
- [MIC 19] "Economics, cognition, and society ", Ann Arbor : The University of Michigan Press, (19..)
- [OEC 90] Trade in information, computer and communication services / Organisation for Economic Co-operation and Development Paris : OECD, cop. 1990, pp56. Publie en francais sous le titre: Echanges de services d'information, d'informatique et de communications" ISBN 92-64-13327-5
- [PRO 91] Robert N. Proctor, "Value-free science? : purity and power in modern knowledge", Cambridge, Massachusetts (etc.) : Harvard University Press, 1991 XI, pp. 331; 25 cm ISBN 0-674-93170
- [RES 89] Nicholas Rescher, "Cognitive economy : the economic dimension of the theory of knowledge", University of Pittsburgh Press, 1989, pp.168
- [SCH 92] Schwuchow, Werner, "Financing and Pricing of Information Services", Information Management for Information Services, Ben G. Goedebeure and Karl Stroetmann Eds., Deutsches Bibliotheksinstitut, Vol. 121, Berlin, pp. 91-97, 1992
- [SEN 93] Econometrics of information and efficiency / Jati K. Sengupta Dordrecht (etc.) : Kluwer Academic, cop. 1993, pp. 256, Theory and decision library. Series B, Mathematical and statistical methods ISBN 0-7923-2353-X
- [STR 92] Stroetmann, Karl, "Information Management for the '90s: A Conceptual Framework", Information Management for Information Services, Ben G. Goedebeure and Karl Stroetmann Eds., Deutsches Bibliotheksinstitut, Vol. 121, Berlin, pp7-22, 1992