

***BULLETIN***

***DE***

***L'AFIA***



**AVRIL 2011**

**N° 72**

***Association Française pour l'Intelligence Artificielle***

## Présentation du bulletin

Le **Bulletin de l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle** vise à fournir un cadre de discussions et d'échanges au sein de la communauté universitaire et industrielle. Ainsi, toutes les contributions, pour peu qu'elles aient un intérêt général pour l'ensemble des lecteurs, sont les bienvenues. En particulier, les annonces, les comptes rendus de conférences, les notes de lecture et les articles de débat sont très recherchés. Le Bulletin de l'AFIA publie également des dossiers plus substantiels sur différents thèmes liés à l'IA. Le comité de rédaction se réserve le droit de ne pas publier des contributions qu'il jugerait contraire à l'esprit du bulletin ou à sa politique éditoriale. En outre, les articles signés, de même que les contributions aux débats, reflètent le point de vue de leurs auteurs et n'engagent qu'eux-mêmes.

### Pour contacter l'AFIA

#### Président

Yves DEMAZEAU

L.I.G./C.N.R.S., Maison Jean

Kuntzmann, 110, avenue de la Chimie,  
B.P. 53, 38041 Grenoble cedex 9

Tel : +33 (0)4 76 51 46 43

Fax : +33 (0)4 76 51 49 85

[Yves.Demazeau@imag.fr](mailto:Yves.Demazeau@imag.fr)

[http://membres-lig.imag.fr/  
demazeau](http://membres-lig.imag.fr/demazeau)

#### Serveur WEB

<http://www.afia-france.org>

#### Adhésions, liens avec les adhérents

Thomas GUYET

Laboratoire Informatique d'Agrocampus-  
Ouest

65, rue de Saint-Brieuc

35042 Rennes cedex

Mél. : [Thomas.Guyet@irisa.fr](mailto:Thomas.Guyet@irisa.fr)

#### Membres d'honneur

Marie-Odile Cordier (1999), Jean-Paul Haton (1999), Jacques Pitrat (1999), Jean-Marc David (2000), Daniel Kayser (2000), Claude Vogel (2000), Henri Farreny (2001), Alain Colmerauer (2002), Jean-Louis Laurière (2002), Gérard Sabah (2003), Jean-Claude Latombe (2004), Yves Kodratoff (2004), Malik Ghallab (2005), Marie-Christine Rousset (2005), Christian Bessière (2006), Luis Farinas del Cerro (2006), Pierre Marquis (2009), Jérôme Lang (2009).

#### Personnes morales adhérentes à l'AFIA

INRIA Sophia-Antipolis, SWETS, Université Paris 9 - Dauphine, LSTI, Keonys, CEA.

### Conseil d'Administration de l'AFIA

#### Bureau :

Yves DEMAZEAU, président

Jean-Denis MULLER, vice-président

Olivier BOISSIER, secrétaire

Thomas GUYET, trésorier

#### Membres :

Patrick ALBERT, Frédéric ALEXANDRE, Flavien BALBO, Olivier BOISSIER, Nicolas BRODU, Vincent CORRUBLE, Serge DUPUY, Serge GARLATTI, Vincent LE-MAIRE, Nicolas MAUDET, Eunika MERCIER-LAURENT, Philippe MORIGNOT, Gérald PETITJEAN, Anne-Laurence PUTZ, Patrick REIGNIER, Marc SCHOE-NAUER, Dominique SCIAMMA, Michèle SEBAG, Pierre ZWEIGENBAUM.

## Comité de Rédaction

### Laurence Capus

**Rubrique « I.A. au Québec »**

Dept. d'Informatique et de  
Génie Logiciel

Université Laval, Québec, Ca-  
nada

[Laurence.Capus@ift.ulaval.ca](mailto:Laurence.Capus@ift.ulaval.ca)

### Brigitte Grau

**Rubrique « Sommaire des re-  
vues »**

LIMSI - CNRS

B.P. 133, 91403 Orsay cedex

[Grau@limsi.fr](mailto:Grau@limsi.fr)

### Jean-Marc Labat

**Rubrique « Jeux et compéti-  
tion en I.A. »**

LIP6, Université Pierre et Ma-  
rie Curie

4, place Jussieu, 75005 Paris

[Jean-Marc.labat@lip6.fr](mailto:Jean-Marc.labat@lip6.fr)

### Philippe Morignot

**Rédacteur en chef**

CEA, LIST, LRI

18, route du panorama, B.P. 6,  
92265 Fontenay-aux-Roses

[Philippe.Morignot@cea.fr](mailto:Philippe.Morignot@cea.fr)

### Patrick Reignier

**Rubrique « Résumés de thèse  
et HDR »**

PRIMA

INRIA Rhône-Alpes, 655, ave-  
nue de l'Europe, 38334 Saint-  
Ismier cedex

[Patrick.Reignier@inrialpes.fr](mailto:Patrick.Reignier@inrialpes.fr)

## L'Intelligence Artificielle à votre service

Depuis plus de 50 ans, l'Intelligence Artificielle est porteuse de rêves et d'espoirs, qu'elle aide à la résolution de problèmes complexes dans différents domaines, ou qu'elle assiste les hommes dans leurs activités quotidiennes personnelles ou professionnelles. Elle est omniprésente sans être citée dans des produits comme les jeux vidéo, les tondeuses à gazons ou les aspirateurs, les jouets, les machines à laver, les logiciels en ligne... Elle intervient aussi dans le milieu de la santé (robots opératoires, diagnostic assisté, analyse de dossiers médicaux...), dans le domaine de la sécurité (surveillance, gestion de crises...), ou de l'énergie (modèles prédictifs, gestion distribuée...).

Selon sa première définition, l'IA cherche à reproduire à l'aide des machines les comportements humains. Aussi certains l'associent souvent aux robots ou aux drones, d'autres à l'automate joueur d'échecs, ou encore à une machine capable de répondre à toutes les questions et de dialoguer avec l'être humain. Il est vrai que les robots humanoïdes d'aujourd'hui peuvent désormais assister des personnes âgées ou handicapées, leur tenir compagnie et détecter un danger. Les plus récents artefacts que sont les smartphones offrent de plus en plus de fonctionnalités, dont certaines utilisent des techniques d'IA.

Le domaine d'application de l'IA s'est rapidement élargi à la résolution de problèmes complexes. Les démarches et les techniques de l'IA sont maintenant indispensables pour optimiser les ressources, superviser les processus industriels, faire du diagnostic, de la configuration d'équipements complexes ou construire une expérience collective.

Dans une société devenue globale, l'intelligence artificielle peut aider à rechercher de l'information pertinente, trouver un expert au travers des réseaux sociaux, simuler un système complexe avant de le réaliser afin de minimiser son impact sur l'environnement.

Certains chercheurs réfléchissent déjà au dépassement des limites actuelles de l'IA, pour modéliser les émotions ou la conscience de soi.

Pour la première fois dans l'histoire de l'AFIA, un cycle d'événements grand public est organisé sur la Plateforme 2011 qui aura lieu à Chambéry du 16 au 20 mai. Il comprend une exposition présentant les méthodes clefs et leurs applications sous forme de démonstrations et d'animations, une conférence plénière rassemblant des experts de l'IA et un café débat sur les Intelligences.

A cette occasion, nous vous proposons un recueil d'articles décrivant quelques techniques de l'IA accompagnés exemples d'usages actuels.

Nous remercions tous les auteurs pour leur contribution. Rendez-vous à la Plateforme AFIA 2011 et aux événements grand public.

Bonne lecture!

**Eunika Mercier-Laurent & Michael Aupetit**  
Rédacteurs en chef du Bulletin Spécial Grand Public de l'AFIA

# Le paradoxal succès de l'IA : Histoire d'un malentendu

Jean-Gabriel Ganascia  
Université Pierre et Marie Curie  
4, place Jussieu, 75252, Paris, Cedex 05

## Le projet original

L'intelligence artificielle est née il y a un peu plus d'un demi-siècle, en 1956 exactement, à *Dartmouth college*, dans la petite ville d'Hanovre de l'état du New Hampshire aux États-Unis, lors d'une école d'été organisée par quatre jeunes chercheurs de l'époque : John McCarthy, Marvin Minsky, Nicolas Rochester et Claude Shannon. L'année qui précédait, en 1955, le plus jeune d'entre eux, John McCarthy, avait rédigé une demande de subvention et l'avait adressée à la *National Science Foundation* (NSF) – équivalent de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) aux États-Unis – ; à l'époque, il était âgé de moins de trente ans. C'est alors qu'il inventa le terme d'"intelligence artificielle" pour frapper les esprits. Et, ce terme fit fortune, puisque son projet fut financé et qu'on l'emploie toujours.

Pour John McCarthy comme pour les autres promoteurs de l'école d'été de *Dartmouth college*, l'étude de l'intelligence artificielle reposait sur la conjecture<sup>1</sup> selon laquelle toutes les facultés intellectuelles humaines, comme par exemple celles qui sont en œuvre dans le raisonnement, la démonstration mathématique, la découverte scientifique ou même la créativité artistique, peuvent être décrites avec une précision telle qu'un ordinateur est en mesure de les reproduire. Cinquante cinq ans plus tard, beaucoup de progrès ont été réalisés dans cette perspective. Désormais, les ordinateurs se sont disséminés partout, ils prennent une part dans toutes les activités quotidiennes et beaucoup d'entre eux simulent nos capacités cognitives. Une machine a vaincu, à plusieurs reprises, le champion du monde en titre au jeu d'échec ; on construit automatiquement des connaissances à partir de l'information stockée dans les bases de données ; des automates reconnaissent la parole articulée et comprennent des textes écrits en langage naturel ; d'autres démontrent ou aident à démontrer des théorèmes mathématiques... Il en est même qui peignent des tableaux ou qui composent de la musique. Et, tout récem-

ment, Watson – on n'ose plus dire qu'il s'agit d'un ordinateur, car Watson se compose d'une soixantaine de serveurs mis en réseau et stockant une somme considérable de connaissances humaines –, fabriqué par la célèbre société IBM, l'a emporté sur les meilleurs joueurs au jeu télévisé *Jeopardy* où l'on doit répondre, en temps réel, et par la voix, à des questions plus ou moins énigmatiques. Bref, la plupart des dimensions de l'intelligence – sauf peut-être l'humour – font l'objet d'analyses et de reconstructions rationnelles avec des ordinateurs. Et, l'étude de l'intelligence artificielle repose toujours sur la même conjecture que rien, jusqu'à présent, n'a permis ni de démentir, ni de démontrer irréfutablement. Or, cette conjecture, à défaut d'être prouvée, se trouve toujours d'une fécondité inouïe au point qu'on ne saurait trouver discipline scientifique qui ait eu, depuis plus d'un demi-siècle, un impact aussi grand sur la vie quotidienne et sur la pensée.

Pourtant, en dépit de ces succès, il se trouve régulièrement des esprits chagrins pour s'élever contre l'intelligence artificielle. Certains d'entre eux affirment que ses objectifs sont trop ambitieux et qu'elle n'a pas tenu ses promesses ; d'autres prétendent qu'elle est mal engagée et que ses méthodes ne sont pas appropriées. Ces derniers songent à remplacer ce qu'ils appellent la "bonne vieille intelligence artificielle" – en anglais *Good Old Fashioned AI (GOFAI)* –, par une "Nouvelle Intelligence Artificielle" fondée non plus sur une simulation du psychisme humain ou de l'intelligence, mais sur une reproduction des mécanismes physiologiques à l'origine de la perception et de l'action.

Or, à examiner de près l'histoire récente, les allégations portées à l'encontre de l'intelligence artificielle ne reposent sur aucun fondement. Quant à la soi-disant "Nouvelle Intelligence Artificielle", elle n'apporte rien de vraiment neuf, car elle emprunte ses méthodes à des disciplines pré-existant à l'intelligence artificielle, en particulier à la *cybernétique*. Selon nous, ces critiques adressées à l'intelligence artificielle reposent toutes sur un malentendu que nous allons expli-

1. Rappelons qu'une conjecture est une proposition qu'aucune constatation n'a contredite, autrement dit qui est toujours apparue vraie, mais qui n'a pas encore été prouvée de façon irréfutable

citer ici. Mais, avant cela, rappelons ce que sont les grandes réussites de l'intelligence artificielle.

### De grandes réussites

Depuis plus d'un demi-siècle, les technologies de l'information et de la communication ont transformé le monde. En quelques années, le commerce, la finance, les échanges, l'école, le travail, la culture, la politique, etc. se sont totalement modifiés du fait de leur développement. Qu'on se remémore quelques-unes des étapes les plus marquantes de ces évolutions : apparition des grands centres de calcul, auxquels ont succédé les mini- puis les micro-ordinateurs, nouvelles interfaces avec utilisation de la souris et métaphore du bureau, essor des hypermédia, popularisation du Web, nomadisme généralisé, informatique vestimentaire, intelligence d'ambiance... Partout, les évolutions ont été imaginées, conçues, développées, expérimentées dans des laboratoires de recherche. Partout, l'intelligence artificielle a pris, et continue de prendre, une part déterminante. Pour mieux le comprendre, prenons quelques exemples.

#### Hypertexte et web

Le premier article écrit en 1965 par Ted Nelson sur l'*hypertexte* se réfère explicitement aux techniques d'intelligence artificielle. Il fait appel aux structures de données inventées par l'intelligence artificielle, en particulier à la programmation en listes, pour établir des liens entre les parties d'un texte, afin de simuler les processus d'association intervenant dans les mémoires humaines. Précisons, à cet égard, pour les Monsieur Jourdain de l'Internet qui ne sauraient pas ce qu'est un hypertexte, qu'il s'agit d'un texte enrichi de liens entre ses parties. Cela autorise la navigation, autrement dit, le "butinage" d'un lecteur devenu abeille qui fait son miel de tout ce qu'il trouve en furetant d'une fleur à une autre du texte. Le web, autrement dit la toile d'araignée mondiale, n'est autre qu'un hypertexte géant à l'échelle de la planète. Le concepteur du Web, Tim Berners Lee, l'a conçu ainsi au tout début des années quatre-vingt-dix. Et, d'ailleurs le langage le plus utilisé pour rédiger des sites web s'appelle HTML, acronyme d'*HyperText Markup Language*, ce qui signifie en français "langage de balises pour hypertextes". Notons aussi, toujours dans le contexte du web, que les moteurs de recherche, et en particulier l'un des plus populaires aujourd'hui, Google, recourent à des techniques d'intelligence artificielle. Enfin, les améliorations envisagées pour aider à retrouver les informations sur la toile reposent en partie sur les *ontologies*, sur les *logiques de description* et sur ce que l'on appelle le *Web sémantique*,

autant de techniques issues de l'intelligence artificielle. Il est donc difficile d'imaginer une discipline si capitale et qui joue un rôle si central dans les enjeux les plus cruciaux de la modernité.

#### Informatique

Dans un registre différent, les langages orientés vers les objets que les informaticiens utilisent beaucoup aujourd'hui, proviennent en grande partie des travaux d'intelligence artificielle poursuivis dans les années soixante-dix et au début des années quatre-vingt sur la *représentation des connaissances*, c'est-à-dire sur la simulation des mécanismes de la mémoire à l'aide d'un ordinateur. Et, ce sont les besoins de l'intelligence artificielle qui ont initialement conduit des programmeurs à les concevoir. C'est ainsi que sont nés les langages d'acteurs, inventés par Carl Hewitt, au MIT, et le langage SmallTalk, conçu par Alan Kay, dans le centre de recherche de Xerox PARC, à Palo-Alto en Californie. Dans un ordre d'idées analogue, les langages de programmation logique, comme PROLOG, inventé par Alain Colmerauer au début des années soixante-dix, répondaient aux besoins exprimés par les spécialistes du traitement automatique la langue naturelle. Ils ont été élaborés sur les principes de démonstration automatique de théorèmes conçus par des spécialistes d'intelligence artificielle.

#### Vision, parole, ...

Les logiciels de reconnaissance de la parole, que l'on utilise dans les serveurs vocaux ou dans les machines à dicter du commerce, de synthèse de la parole, de reconnaissance des formes visuelles font tous appel à des techniques d'intelligence artificielle. Evoquée plus haut parce qu'elle l'emporte sur les meilleurs d'entre nous au jeu de Jeopardy, la machine Watson intègre ces techniques pour transcrire les questions qui lui sont posées à voix haute et pour y répondre de façon intelligible. Et, les assistants personnels, qui remplacent parfois nos antiques carnets de papier, intègrent des réseaux de neurones formels grâce auxquels ils reconnaissent nos écritures.

#### Robots

Aujourd'hui, les robots prennent une part de plus en plus grande dans l'économie contemporaine. À cet égard, il faut savoir, que la population des robots en activité dans les usines s'élève à plus d'un million d'"individus" et qu'à cela s'ajoutent les robots domestiques, les robots de compagnie, les robots spatiaux, les robots médicaux, les drones, les robots soldats etc., sans compter les innombrables robots virtuels qui parcourent la toile en tous sens. À titre

d'illustration, il existe dans le commerce des petits robots aspirateurs intelligents capables d'explorer une pièce et de la nettoyer automatiquement, en évitant les obstacles, les murs, les escaliers etc. Bref, nous vivons désormais dans un monde nouveau où les hommes coexistent, de plus en plus, avec les robots. Et, les techniques d'intelligence artificielle contribue grandement à leur réalisation, qu'il s'agisse d'aider ces robots à percevoir leur environnement ou de contribuer à leur donner une certaine autonomie de mouvement.

Nous pourrions multiplier les exemples. Dans tous les secteurs d'activité producteurs de richesses, dans le domaine de la santé, de l'électroménager ou, plus exactement, de ce que l'on appelle aujourd'hui la "domotique" ou la "maison intelligente", de l'automobile, de l'aéronautique, des transports ferroviaires, des télécommunications, des médias etc. l'intelligence artificielle joue un rôle clef.

## Les grincheux

En dépit de tous ces succès, les grincheux s'acharnent. Selon leurs propres termes, on attend toujours l'intelligence artificielle. Et, d'années en années, elle décevrait toujours plus les espérances. Pour eux, HAL, l'ordinateur intelligent du film de Stanley Kubrick "2001, l'Odyssée de l'espace" n'aurait pas encore vu le jour, même si le cap du millénaire est déjà largement passé. Traduction automatique, compréhension du langage naturel, vision, démonstration de théorème, résolution de problèmes, robotique... l'histoire récente accumulerait les échecs. Rien de vraiment tangible n'advierait dans ce secteur de la technologie... Autant de lieux communs bien répandus que l'on retrouve depuis longtemps et dont un philosophe américain, Hubert Dreyfus, s'est fait le champion depuis plus de quarante ans aujourd'hui. Pour illustration, citons quelques phrases de ce pourfendeur acharné de l'intelligence artificielle :

*"It has been half a century since the computer burst upon the world along with promises that it would soon be programmed to be intelligent, and the related promise or threat that we would soon learn to understand ourselves as computers. In 1947 Alan Turing predicted that there would be intelligent computers by the end of the century. Now with the millennium only three years away, it is time for a retrospective evaluation of the attempt to program computers to be intelligent like HAL in the movie 2001."* Dreyfus and Dreyfus (1985)

## Promesses

En regard de ces soi-disant échecs, on fait régulièrement état des promesses grandioses faites par les pionniers de la discipline, il y a plus de cinquante ans, en particulier celles d'Alan Turing, de Marvin Minsky, d'Herbert Simon, d'Alan Newell et de tant d'autres, et l'on se gausse!

Or, curieusement, lorsqu'on invoque cet argument à l'encontre de l'intelligence artificielle, on omet de citer les prédictions exactes que firent les précurseurs mentionnés. Faisons-le ici, pour tenter d'instruire le procès.

## Le test de Turing

Commençons par le pionnier, Alan Turing, l'homme qui anticipe l'intelligence artificielle avant qu'elle ne naisse vraiment, en 1950, dans un article célèbre intitulé "Calculateur et intelligence" (*Computing Machinery and Intelligence*) Turing (1950) où il précise ce que veut dire penser pour une machine. D'après lui, ni l'apparence physique, ni le grain de la voix, ni même les traits du visage ne contribueraient à l'intelligence. Beaucoup s'accorderont avec cette façon de voir. Plus surprenant, pour Turing, la conscience n'y prendrait pas directement part, car on qualifiera d'intelligente une machine dont le comportement semble émaner d'un être intelligent, que cette machine soit consciente ou non. Et pour préciser ce qu'il entend exactement par "intelligence des machines", Alan Turing imagine un subterfuge qui passe par le "jeu de l'imitation". Ce jeu se joue à trois : un homme, nous l'appellerons A, une femme, B, et un interrogateur, C, dont le sexe est indifférent. A, B et C se trouvent dans trois pièces séparées de sorte qu'ils ne perçoivent pas leurs voix respectives ni leurs apparences physiques. Le jeu consiste, pour l'interrogateur, C, à poser des questions à A et à B afin de distinguer l'homme de la femme, sachant que l'homme, c'est-à-dire A, essaye de se faire passer pour une femme. Jusque-là, il n'entre aucun ordinateur ni aucune machine dans le jeu de l'imitation. Que se passe-t-il maintenant si l'on remplace l'homme qui imite la femme par un ordinateur qui imite l'homme qui imite la femme ? D'après Alan Turing, cette machine serait qualifiée d'intelligente si elle trompait l'interrogateur aussi longtemps que l'homme le fait. Nous ne nous étendrons pas ici sur la pertinence de ce test d'intelligence qui a été beaucoup commenté et que l'on appelle, en hommage à Alan Turing, le *test de Turing*. En revanche, intéressons-nous aux prévisions d'Alan Turing lorsqu'il écrivit son article : d'après lui, on devait être en mesure, d'ici 50 ans (rappelons que nous étions en 1950), de concevoir un ordinateur capable de tromper un interrogateur dans plus de 70% des cas sur un échange de cinq minutes. Malgré tous les déboires et toutes les déconvenues de l'intelligence artificielle, on est effectivement ca-

pable depuis quelques années de concevoir des machines (les “chatbots”, littéralement “robots bavards” en français que l’on appelle plus couramment les agents conversationnels) avec lesquels tous peuvent converser sur Internet. Ces machines jouent au jeu de l’imitation et leurs performances avoisinent celles qu’avait prévues Turing. On organise d’ailleurs régulièrement des concours entre elles en hommage à Turing. Le prix *Loebner* honore chaque année celle qui l’emporte, ou plus exactement son concepteur. Et, il semble même que certains sites de “chat” à caractère érotique fassent appel à de tels robots...

### “Prophéties”

Dans le même ordre d’idées, Herbert Simon, qui devint plus tard prix Nobel d’économie et qui reçut la médaille Turing – l’équivalent du prix Nobel en informatique –, et son collègue Alan Newell, lui aussi titulaire de la médaille Turing, firent, peu de temps après la naissance de l’intelligence artificielle, des déclarations fracassantes. Selon eux, (nous étions en 1958) :

- dans 10 ans un ordinateur, s’il n’était pas interdit de participation aux compétitions internationales, devait sans aucun doute devenir le champion du monde au jeu d’échecs,
- dans 10 ans, un ordinateur serait certainement capable de composer de la musique douée d’une indéfinissable valeur esthétique,
- dans 10 ans un ordinateur démontrerait des théorèmes mathématiques totalement originaux,
- dans 10 ans, un ordinateur simulerait le psychisme au point que toutes les théories psychologiques prendraient la forme de droits programmes d’ordinateur
- etc.

Il va sans dire que ces prédictions se sont toutes révélées erronées. Ainsi, sept ans plus tard, en 1965, un enfant de 10 ans battit au jeu d’échec un ordinateur programmé tout exprès ; nous étions bien loin de voir une machine l’emporter sur le champion du monde...

Pourtant, en 1997, c’est-à-dire une trentaine d’années plus tard, un ordinateur parvint à défier et à vaincre le champion du monde en titre. Et, aujourd’hui, les ordinateurs sont beaucoup utilisés par les musiciens ; ils contribuent à la création artistique contemporaine ; ils prennent une part importante dans l’activité des mathématiciens. De même, les psychologues font couramment appel à des modèles informatiques.

En somme, si la plupart des proclamations de Simon et Newell ont été démenties, elle n’en étaient pas dénuées de pertinence. Certes, les délais ne furent pas respectés, mais

qu’est-ce qu’un retard de trente ans au regard de l’histoire de l’humanité ?

Toujours dans le registre des anticipations erronées, on s’enthousiasma au début des années quatre-vingt pour ce que l’on appelait les “systèmes experts”, c’est-à-dire pour des logiciels qui comprenaient, en lieu et place des programmes informatiques traditionnels, du savoir spécialisé se référant à des connaissances détenues par des hommes de métier. Là encore, les prévisions furent démenties : le développement industriel des systèmes experts ou des systèmes à base de connaissances fut beaucoup plus lent que ce que tous les spécialistes de prospective avaient déclaré. Pourtant, aujourd’hui, ces techniques se diffusent dans l’industrie où elles sont couramment utilisées. Le développement de ce qu’il est convenu d’appeler la “gestion des connaissances” (*Knowledge Management* en anglais) en atteste indubitablement, tout en amplifiant considérablement ce mouvement, puisqu’il s’agit maintenant de construire une mémoire collective avec l’intelligence artificielle.

Qui plus est, les progrès d’Internet ont donné une actualité neuve à ces techniques qui contribuent à édifier la société dite de la connaissance dans laquelle la production de richesses tient plus à la création de savoirs qu’à la fabrication d’objets manufacturés.

Ainsi, contrairement à une idée couramment répandue, l’intelligence artificielle a tenu beaucoup de ses promesses ; et, elle va parfois même au-delà. Qui aurait imaginé, il y a à peine vingt ans, une encyclopédie aussi riche et facile d’accès que celle que nous procurent les moteurs de recherche sur la toile, ou celle qui se constitue avec Wikipédia ? Qui aurait parié sur une machine jouant à un jeu aussi compliqué et requérant autant de finesse que Jeopardy ? Dès lors, pourquoi accuse-t-on l’intelligence artificielle ? Peut-être, parce que la foi que certains mettent en elle va bien au-delà de tout ce qui est réalisable, puisqu’il s’agit pour eux de reproduire une conscience sur un ordinateur... Dès lors, l’intelligence artificielle risque fort de décevoir et, d’une certaine façon, heureusement ! Mais, si l’on relit attentivement les vraies promesses des pionniers, on constate qu’en dépit de leur enthousiasme, elles demeurent très mesurées à cet égard.

### Le paradoxe de Moravec

Une autre critique porte non plus sur les objectifs ultimes de l’intelligence artificielle, mais sur les moyens qu’elle met en œuvre pour les atteindre. Certains les considèrent comme inappropriés. À ce titre, il est courant d’entendre dire, aujourd’hui, que les facultés supérieures de l’intelligence, par exemple, l’activité mathématique, le raison-

nement abstrait ou le jeu d'échec sont plus facile à reproduire sur un ordinateur que ne le sont les mécanismes physiologiques élémentaires. Fréquemment invoqué dans les vingt dernières années, le "paradoxe de Moravec" [Moravec \(1988\)](#) résume parfaitement ce point : roboticien et spécialiste d'intelligence artificielle, Hans Moravec prétend que les capacités cognitives qui recourent à la *ratiocination* – c'est-à-dire au raisonnement et au calcul –, se simulent aisément sur un ordinateur à l'aide de quelques règles logiques, tandis que les capacités cognitives dites de "bas niveau", comme la perception, sont bien plus difficiles à reproduire avec des mécanismes logiques. Ainsi, selon Hans Moravec, il existe aujourd'hui des programmes d'intelligence artificielle qui jouent au échec, qui démontrent des théorèmes et qui interprètent des questions posées en langage naturel, tandis que les facultés "inférieures", comme la reconnaissance des visages ou la fabrication d'un robot capable de débarasser la table, semblent beaucoup plus délicates à simuler. De façon similaire, les comportements animaux primitifs, par exemple la prudence, le maintien de l'attention, l'instinct de conservation, etc., paraissent moins aisément reproductibles en utilisant des mécanismes logiques et déterministes que ne le sont les facultés supérieures. Le paradoxe tient à ce que les dimensions de l'intelligence propres à l'espèce humaine, supposée plus évoluée dans le règne animal que les autres espèces, sont plus facile à reproduire avec l'intelligence artificielle classique que ne le sont les mécanismes physiologiques élémentaires que toutes les espèces animales possèdent.

Plus généralement, beaucoup de ceux qui raillent l'intelligence artificielle traditionnelle réduite, selon eux, à la simulation des facultés supérieures, et qui l'appellent, par dérision, la "bonne vieille IA", promeuvent une "Nouvelle IA"<sup>2</sup> qui simulerait les processus physiologiques à la source de nos capacités cognitives animales. Plus généralement, ils proposent de construire des machines efficaces qui reproduiraient les facultés élémentaires [Brooks \(2002\)](#), sans se soucier aucunement des facultés supérieures, supposées triviales.

Il apparaît toutefois difficile de conclure des prétentions de la "Nouvelle IA" à l'échec de l'intelligence artificielle traditionnelle, parce que, comme nous l'avons vu, comparée à beaucoup de disciplines, l'intelligence artificielle a remporté beaucoup de succès dans le passé. De plus, une attention soutenue aux critiques qui lui sont adressées montre que la condamnation n'est pas réellement causée par les échecs ou par l'inefficacité de l'intelligence artificielle classique, mais plutôt par une divergence d'ordre philosophique qui implique une divergence d'attitude envers l'intelligence en général et les sciences en particu-

lier [Ganascia \(2010\)](#). Symétriquement, on peut noter que, depuis sa promotion initiale, il y a plus d'un quart de siècle, au milieu des années quatre-vingt, la "Nouvelle IA" n'a pas contribué de façon significative à des réalisations si marquantes qu'elles légitimeraient ses proclamations de façon irréfutable. Enfin, les fondements conceptuels de la "Nouvelle IA" se trouvaient déjà posés dans la *cybernétique* et la théorie des *systèmes dynamiques* avant même que l'intelligence artificielle traditionnelle ne naisse. À cet égard, les robot dits réactifs qui prétendent recourir aux principes de la "Nouvelle IA" ressemblent, dans leurs principes, aux *tor-tues de Bristol* construites par Grey Walter au tout début des années cinquante.

## Le malentendu

### Divergence d'appréciation

L'histoire de l'intelligence artificielle apparaît bien paradoxale. En effet, comme nous l'avons vu, il n'est pas de discipline scientifique qui n'ait autant modifié la face du monde dans les cinquante dernières années. Songeons que les fondements de la physique contemporaine, qu'il s'agisse de la relativité ou de la physique des quantas, remontent, pour leur plus grande part, à la première moitié du vingtième siècle. De même, les fondements de la biologie moléculaire ont été posés en 1953, par Watson et Crick, lors de la découverte de la structure en double hélice de l'ADN. Née après ces découvertes, l'intelligence artificielle contribua à transformer la société de façon inouïe, au point que l'on parle aujourd'hui de *société de l'information* ou de *société de la connaissance* pour décrire le nouvel ordre politique, épistémologique et moral induit par l'emploi généralisé des technologies de l'information qu'elle a largement contribué à développer. Or, dans le même temps, beaucoup moquent l'intelligence artificielle. D'autres se contentent de constater ce qu'ils appellent un "échec" retentissant. D'après nous, cette divergence entre l'appréciation négative portée sur l'intelligence artificielle et sa réalité effective jalonnée de réussites étonnantes, tient à un malentendu sur la signification du terme d'intelligence artificielle et de ses objectifs.

Indubitablement, le projet de l'intelligence artificielle est fascinant, mais il est aussi ambigu. La locution "intelligence artificielle" prête souvent à confusion, même si le sens que lui ont donné les pionniers comme John McCarthy était parfaitement clair. Il s'ensuit que ses objectifs peuvent s'entendre différemment. Et, selon que l'on considère l'un

2. Ce terme français utilisé en anglais fait implicitement écho à la "Nouvelle cuisine", la "Nouvelle gauche", la "Nouvelle philosophie", etc.

ou l'autre, la réalité technique se trouvera soit en deçà, soit au-delà, d'où le double sentiment de d'échec et de réussite.

### Réalisation d'une "IA"

Plus précisément, dans l'acception la plus largement répandue et la plus populaire, mais différente de celle donnée par John McCarthy en 1955, l'intelligence artificielle vise à réaliser une *Intelligence Artificielle*, c'est-à-dire une entité douée d'intelligence, à l'aide de dispositifs matériels fabriqués par l'homme. Dans cette perspective, l'intelligence artificielle est comprise comme une tentative de reproduction de la conscience ou, tout moins, de reproduction de l'esprit sur une machine. Sans aucun doute, cette idée stimule l'imagination. Au plan philosophique, cela signifie que notre conscience – ou notre esprit – n'est rien de plus qu'une somme de mécanismes élémentaires. Dans son principe, cette idée satisfait beaucoup de nos contemporains qui adoptent une perspective strictement matérialiste. Simultanément, cette acception conduit à une certaine frustration, parce qu'elle propose de construire une machine qui possède effectivement une conscience. Or, même si l'esprit ou la conscience peuvent, en principe, être simulés sur une machine, cette simulation représente un horizon de possibilités qui ne sera pas atteint rapidement. En conséquence, l'intelligence artificielle échoue à répondre aux espoirs des personnes impatientes qui souhaitent la voir se réaliser immédiatement. Certains en tirent argument contre l'intelligence artificielle, disant qu'elle n'est pas capable d'atteindre ses objectifs. Quelques uns vont même jusqu'à affirmer que ces objectifs ne sont pas atteignables, tandis que d'autres assurent que les méthodes qu'elle utilise ne sont pas appropriées. À titre d'illustration, ladite "Nouvelle IA" explique que l'échec tient à l'assimilation de l'esprit à une manipulation symbolique d'information, sans égard ni à la physiologie, ni à la dimension corporelle de l'intelligence.

### Dissection de l'intelligence

On conçoit aisément que, prise dans ce sens littéral, l'intelligence artificielle déçoit, car nous sommes encore loin de fabriquer l'équivalent d'un homme, voire d'un animal, avec des machines. On conçoit aussi qu'au regard de cet objectif, certains s'impatientent et qu'ils mettent en cause soit les méthodes utilisées, en particulier l'emploi d'ordinateurs électroniques contemporains, c'est-à-dire à d'automates déterministes, soit la reproduction des facultés supérieures de l'intelligence humaine. Les premiers souhaitent recourir à des machines non déterministes ; quant aux se-

conds, ils se présentent comme les partisans d'une prétendue "Nouvelle IA".

Toutefois, comme nous l'avons vu au début de cet article, cette acception largement répandue du terme "intelligence artificielle" ne correspond pas à celle que lui ont donné les pionniers de la discipline. Rappelons que, dans le texte soumis en 1955 à la NSF par John McCarthy pour obtenir le financement de l'école d'été de Dartmouth College [McCarthy et al. \(1955\)](#), l'intelligence artificielle reposait sur la conjecture selon laquelle tous les aspects de l'intelligence peuvent en principe être décrits d'une façon si précise que l'on saurait construire une machine qui les simule<sup>3</sup>.

Dans cette seconde signification, l'intelligence artificielle est une discipline scientifique qui étudie l'intelligence avec les ressources de l'artificiel, c'est-à-dire avec des techniques de traitement de l'information, sans reproduire nécessairement un esprit artificiel. Ce faisant, elle se présente au titre de ce qu'Herbert Simon qualifie de *sciences de l'artificiel*. Notons que, contrairement à une idée répandue, cette science ne se restreint pas à la simulation du psychisme. D'autres niveaux d'abstraction peuvent aussi être reproduits à l'aide de techniques d'intelligence artificielle. Ainsi, le projet originel de McCarthy [McCarthy et al. \(1955\)](#) mentionnait explicitement les *réseaux de neurones formels* comme relevant du champ de préoccupation de l'intelligence artificielle, ce qui signifie que l'intelligence artificielle ne se restreint pas à un dualisme cartésien naïf, comme quelques uns de ses détracteurs voudraient le laisser croire. Et, dans cette seconde signification, l'intelligence artificielle a rencontré un nombre impressionnant de succès durant ce dernier demi-siècle.

### Fécondité des conjectures

N'en doutons pas, l'intelligence artificielle a été fructueuse et les résultats qu'elle a obtenus contribuent au développement rapide de la société par les technologies de l'information. Et, cette discipline est toujours active ; elle continue de produire des résultats scientifiques nouveaux qui seront utiles dans le futur. Toutefois, entendue comme une discipline scientifique qui tente d'élucider et de simuler l'intelligence avec des machines, elle apparaît, au premier regard, moins fascinante que comme une tentative de reproduction d'une conscience. Ceci explique que le débat autour de l'intelligence artificielle se centre surtout sur la première acception qui, comme nous venons de le voir, ne peut que décevoir. On peut le déplorer, parce que cela donne prise à des critiques injustifiées. On peut aussi, et surtout, le regretter, car les questions épistémologiques

3. *The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be so precisely described that a machine can be made to simulate it.* [McCarthy et al. \(1955\)](#)

les plus intéressantes concernent l'investigation de l'intelligence à l'aide de mécanismes de traitement de l'information. Or, ces questions se trouvent occultées par les débats sur la reproduction d'une conscience.

Ceci ne signifie pas que la discussion sur la réduction et/ou la reproduction de l'esprit et/ou de la conscience sur des ordinateurs ne se justifie pas. Néanmoins, cette réduction n'a pas d'actualité immédiate et encore moins de portée pratique dans le monde contemporain. En effet, aucun élément ne permet d'anticiper la reproduction effective, et à un terme relativement court, d'une vingtaine d'années par exemple, d'un esprit ou d'une conscience à l'aide d'un ordinateur ou d'une technologie contemporaine. En revanche, les résultats de l'intelligence artificielle entendue comme science de l'artificiel ont grandement contribué à forger le monde contemporain et elles continuent toujours à le transformer.

De plus, et c'est certainement là le plus important, la conjecture sur laquelle se fonde l'intelligence artificielle et selon laquelle *tous les aspects de l'intelligence peuvent être décomposés de façon si précise qu'une machine peut les reproduire* se rapproche d'une conjecture plus ancienne émise par Galilée, au XVII<sup>e</sup> siècle, selon laquelle *“ce vaste livre constamment ouvert devant nos yeux (je veux dire l'univers) [...] est écrit en langue mathématique, et ses caractères son le triangle et le cercle et autres figures géométriques, sans lesquelles il est humainement impossible d'en comprendre un mot.”* Galilée (1979) Cette dernière conjecture n'est aucunement prouvée. Elle a pourtant servi de moteur à la physique depuis plus de trois siècles. Gageons que la conjecture

de McCarthy qui fait jouer aujourd'hui à l'informatique le rôle que jouèrent les mathématiques dans les sciences de la nature à l'âge moderne aura un destin analogue!

## Bibliographie

- Brooks, R. (2002). *Flesh and Machines : How Robots Will Change Us*. Pantheon Books.
- Dreyfus, H. and Dreyfus, S. (1985). *Philosophy and Technology II : Information Technology and Computers in Theory and Practice*, chapter From Socrates to Expert Systems : The Limits of Calculative Rationality. Boston Studies in the Philosophy of Science Series. Reidel.
- Galilée (1979). *Il Saggiatore (L'essayeur)*, page 141. Les Belles Lettres, Paris.
- Ganascia, J.-G. (2010). Epistemology of ai revisited in the light of the philosophy of information. *Knowledge, Technology and Policy*, 23 :57–73. 10.1007/s12130-010-9101-0.
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., and Shannon, C. (1955). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. Technical report, Dartmouth College.
- Moravec, H. (1988). *Mind Children*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Turing, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59 :433–460.

# Optimisation combinatoire : comment trouver rapidement une bonne solution ?

Philippe Morignot, CEA LIST, LRI [philippe.morignot@cea.fr](mailto:philippe.morignot@cea.fr)

Qu'y a-t-il de commun entre construire un emploi du temps, pour que des tâches soient effectuées par des employés d'un aéroport par exemple, et s'amuser à résoudre une grille de sudoku dans son journal favori ?

Dans le premier cas, la direction de l'aéroport dispose d'avions d'un côté et de ses employés de l'autre : chaque avion doit être servi selon des tâches précises par un employé, à certaines heures précises et avec une certaine durée, après l'atterrissage de l'avion et avant qu'il ne décolle à nouveau. Et, d'un autre côté, la journée de travail de chaque employé est régie par le Code du Travail, les accords syndicaux et les accords propres à l'entreprise (un aéroport, dans notre exemple). Par exemple, un employé ne peut pas effectuer deux tâches en même temps. Ou bien, il faut laisser quelques minutes libres entre deux tâches successives pour que chaque employé puisse se rendre du lieu de la première tâche au lieu de la deuxième, dans sa journée de travail. Comment faire correspondre travail à effectuer sur chaque avion et respect des contraintes juridiques pour chaque employé ?

Dans le deuxième cas, on doit placer un nombre de 1 à 9 dans chaque case vide de la grille de sudoku, de façon qu'aucun nombre n'apparaisse 2 fois dans une même ligne, une même colonne, ou sur chaque petite grille intérieure de 9 cases. L'aide fournie par le concepteur de la grille se résume à avoir placé certains nombres dans certaines cases. Comment donc trouver les nombres qu'il faut placer dans les cases vides ?

Le premier problème est pratique et doit être résolu tous les jours par la direction de tous les aéroports du monde, pour qu'ils puissent accueillir des passagers et leur faire prendre des avions. Le deuxième problème est un jeu disponible dans de nombreux journaux, pour amuser le lecteur. Que peut-il donc y avoir de commun entre deux problèmes aussi disparates ?

Le point commun réside dans le résultat d'un petit calcul, que nous allons détailler pour chacun de ces deux cas, et dont nous allons tirer les conséquences.

Evaluons à gros grain le nombre d'emploi du temps que l'on pourrait construire pour nos employés d'aéroport. Imaginons qu'il y ait 600 tâches à effectuer par jour, pour 150 employés disponibles. Une première tâche pourrait être affectée à disons 100 employés : ceux dont la journée de travail commence avant le début de cette tâche et finit après la fin de cette tâche (on suppose que 50 employés ne répondent pas à ce critère pour cette tâche là). Une deuxième tâche, qui chevauche la première, pourrait être affectée à 99 autres employés : toujours 100 personnes qui peuvent effectuer cette tâche sans faire d'heures supplémentaires, moins l'employé précédent, qui est déjà pris. Une troisième tâche pourrait être affectée aux 98 employés restants. Et ainsi de suite, jusqu'à la centième tâche. Soit  $100 \times 99 \times 98 \times 97 \times \dots \times 3 \times 2 \times 1 = 100!$  (lire : factorielle 100) possibilités.

Maintenant, il paraît raisonnable de supposer qu'un employé effectue plusieurs tâches pendant sa journée de travail, ce qui veut dire que certaines tâches à placer ne se chevauchent pas. On recommence ainsi le même calcul précédent pour la deuxième centaine de tâche. Puis pour les quatre autres centaines. On arrive ainsi à  $6 \times 100!$  possibilités, ce qui fait  $5,60 \times 10^{158}$  possibilités, pour une évaluation très grossière, encore une fois.

Effectuons le même calcul pour le jeu de sudoku : Pour une case vide d'une petite grille intérieure de sudoku, il y a a priori 8 nombres de 1 à 9 qui peuvent convenir : les 9 nombres possibles moins 1 nombre, celui qui se trouve déjà dans la petite grille (en suppose qu'il n'y ait qu'un seul nombre déjà placé par petite grille intérieure). Pour une deuxième case vide, il ne reste plus que non pas 8 nombres mais 7 : les 8 précédents, moins celui qui vient d'être placé. Puis, pour encore une autre case vide, il ne reste plus que 6 nombres (8 moins les 2 précédents). Et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule possibilité pour le nombre de la dernière case de chaque petite grille.

Pour résumer, il y a donc  $8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 8!$  (lire : factorielle 8) possibilités pour remplir chaque petite grille de sudoku. Et comme il y a typiquement 9 petites grilles juxtaposées par grille, il y a donc  $(8!)^9$  possibilités de remplir un sudoku entier. Cela fait  $2,82 \times 10^{41}$  possibilités.

Considérons un instant ces deux nombres,  $6 \times 100!$  possibilités pour un emploi du temps et  $(8!)^9$  possibilités pour

## OPTIMISATION COMBINATOIRE : COMMENT TROUVER RAPIDEMENT UNE BONNE SOLUTION ?

un sudoku. Ces nombres sont déjà très grands, il est inenvisageable d'essayer à la main toutes ces possibilités, pour trouver un emploi du temps ou une grille de sudoku.

On pourrait penser faire explorer toutes ces possibilités par un programme sur un ordinateur, ce qui accélérerait déjà nettement les choses par rapport à l'approche manuelle, avec un papier et un crayon ! Mais cela ne fait que repousser le problème : que se passerait-il si on augmentait la taille du problème ? C'est à dire, au lieu de chercher à résoudre un sudoku de taille 9 x 9, chercher à résoudre un sudoku 100 x 100, ou 1000 x 1000 ? Et, au lieu de chercher à affecter 600 tâches à 150 employés, chercher à en affecter 6000 à 1500 employés, ou même 60 000 à 15 000 employés ?

La réponse est que le nombre de possibilités à explorer devient démesurément trop grand, même pour le plus rapide des ordinateurs au monde : il suffit d'augmenter un peu la taille des données du problème pour que le nombre de possibilités augmente démesurément trop pour être parcourues une à une.

C'est le phénomène d'explosion combinatoire : il y a beaucoup trop de possibilités envisageables pour un problème pour que même un ordinateur puisse les considérer en un temps raisonnable. Ce que l'on aimerait bien, c'est avoir une solution en quelques secondes, voire quelques minutes, sur un ordinateur, et certainement pas de le laisser tourner des milliards d'années pour avoir une solution à notre problème !

C'est là le domaine de l'optimisation combinatoire : le nombre de combinaisons à envisager a priori pour trouver une solution à ces problèmes est démesurément trop grand pour pouvoir être parcouru une à une, même pour l'ordinateur le plus rapide au monde. Si de petits problèmes peuvent quand même être résolus de cette manière, augmenter la taille de l'une des données du problème se traduit par une augmentation correspondante démesurée du nombre de possibilités, qui en pratique interdit d'utiliser la même méthode.

Il faut donc faire autrement qu'essayer toutes les possibilités. Comment ?

Une première idée consiste à effectivement parcourir toutes les solutions une à une, mais dans un ordre intéressant. C'est à dire qui mène à une solution en ayant parcouru relativement peu de possibilités, en espérant bien ne pas avoir à les parcourir toutes (ce qui n'est pas raisonnablement possible). Ce mode de parcours s'effectue au moyen d'une heuristique : mener à une solution mieux que ne le ferait le hasard, au moyen d'une information non disponible dans les données du problème (information exogène). Trouver une telle information est très difficile : si l'on en disposait pour tout problème (ce qui s'appelle un oracle), il suffirait de s'en servir pour tomber rapidement sur la so-

lution lors de notre parcours exhaustif. Aussi, un problème ne disposant pas d'oracle, il faut bâtir une heuristique, plus elle se rapprochera de l'oracle (il faut là aussi le montrer, puisque cet oracle n'est justement pas connu), plus rapide sera la convergence vers une solution. Avec, toujours, le risque de ne pas converger du tout (et dans ce cas nous revoilà reparti pour des milliards d'années de calcul pour effectuer un parcours de toutes les possibilités...).

Maintenant, un parcours intelligent doit exploiter la structure du problème posé. Cette structure contient des informations précieuses qu'il serait judicieux d'exploiter pour augmenter l'intelligence de ce parcours.

Cette structure peut se représenter en langage informatique comme des relations qui doivent toujours être vérifiées entre les variables du problème. Par exemple, pour le jeu de sudoku, le fait que deux nombres de deux cases vides soient différents (les 2 variables correspondant à chacune de ces cases vides sont différentes). Ou que les nombres d'une ligne soient exactement les nombres de 1 à 9 (toutes ces variables sont différentes deux à deux). Ces relations sont des contraintes, qui traduisent cette structure et ce mode de résolution est la programmation par contraintes.

Ce mode de résolution de problèmes combinatoires a été proposé par Jean-Louis Laurière il y a 35 ans. Depuis, on trouve de nombreux packages se basant sur ces idées, notamment au dessus de Java ou basés sur Prolog.

Une autre façon d'aborder cette exploration consiste à passer de solutions incomplètes ou partielles à d'autres solutions incomplètes ou partielles, en partant d'une solution très incomplète (le problème initial juste posé) jusqu'à espérer tomber sur une solution du problème posé. Il s'agit alors de parcourir un graphe d'états où un état est une solution partielle du problème posé. Par exemple, pour en revenir au jeu de sudoku, on peut poser un état comme une configuration donnée de nombres dans les cases vides. Et on progresse d'un état à un autre état en changeant les nombres des cases vides, par permutation de 2 nombres par exemple.

Ce mode de résolution de problèmes combinatoires a donné lieu à de nombreux algorithmes (les algorithmes de recherche dans un espace d'états), dont l'algorithme de Dijkstra à la fin des années 50, et l'algorithme A\* proposé par Peter Hart, Nils Nilsson et Bertram Raphael à la fin des années 60.

Pour en savoir plus :

Irène Charon, Anne Germa, Olivier Hudry, Méthodes d'optimisation combinatoire, Masson, Collection pédagogique de télécommunication, 1996.

Stuart Russell, Peter Norvig. Artificial Intelligence : A Modern Approach. Prentice Hall, New Jersey, 2010, 3rd édition. Chapitres 3 et 6.

# L'intelligence du web : l'information utile à portée de lien

Jérôme Euzenat  
INRIA & LIG

Le web en lui-même n'est pas un dispositif particulièrement complexe. Il s'agit en principe d'un ensemble de documents distribués sur un réseau dans lesquels il est possible de naviguer. Cependant, très tôt, les documents ont pu être engendrés dynamiquement lors de leur accès. Le même principe permet à des programmes d'accéder aux serveurs du web offrant ainsi des services web. De surcroît, l'interprétation de langages de scripts au sein des navigateurs permet de déporter l'interaction avec les données plus près de l'utilisateur. Le web peut alors être vu comme un ensemble de programmes communiquant entre eux. Même si une certaine tendance au sein des applications mobiles est de se passer du navigateur au profit d'applications légères, c'est bien le même principe qui est mis en œuvre. L'avènement des téléphones programmables avec accès données (oui, les Smartphones) ne fait qu'étendre le périmètre du web.

Mais qu'en est-il de l'intelligence artificielle dans ce cadre ? Les utilisations toujours plus séduisantes que nous faisons du web s'appuient-elles sur des techniques ressortant de notre domaine ? Comme toujours la réponse n'est pas simple : les techniques d'intelligence artificielle ne sont diffusées auprès du grand public qu'embarquées dans des applications plus complètes (technologies du web, interface homme-machine, manipulation des données, etc.). Par ailleurs, elle utilisent de plus en plus de techniques provenant d'autres domaines (recherche opérationnelle, théorie des graphes, etc.).

Je considère ci-dessous deux angles particuliers permettant de répondre à ces questions : les applications fondées sur l'analyse de grandes quantités d'information et le développement d'un web sémantique. J'essaye ensuite de montrer comment l'IA peut contribuer aux tendances actuelles du web : web des données et réseaux sociaux.

## La «sagesse des foules»

L'un des aspects particuliers du web est la quantité de données qui y réside et qui permet, grâce à un traitement massif, d'en extraire des informations fiables quant à ce

qui peut être considéré comme populaire. Cette technique est en premier celle utilisée par le moteur de recherche de Google dans lequel les liens sont utilisés comme autant de votes en faveur des pages les plus populaires.

Cette pure analyse du réseau se complète d'une analyse du contenu manipulé : les mots apparaissant dans les liens, puis dans les pages sont autant d'indices du contexte de pertinence des liens. L'utilisation massive du moteur de recherche produit une rétroaction précieuse.

Diverses techniques issues de notre domaine, fouille de données, apprentissage automatique, souvent hybridées avec d'autres, statistiques, combinatoires, sont mises à profit pour faire parler les graphes. La puissance de la masse d'information est bien illustrée par le site 20 questions (<http://www.20q.net/>), utilisant des techniques de réseaux de neurones ou d'apprentissage d'arbres de décisions. Un courant, Web intelligence, jouant sur les deux sens du mot intelligence en anglais, s'est développé en liant les techniques d'intelligence artificielle et les technologies de l'information comme le web.

Disposer d'une telle quantité d'information et de la capacité d'analyse peut être utilisé de manière très rentable, soit pour placer des annonces ciblées (Google), soit pour promouvoir d'autres produits que l'on vend (Amazon). Les techniques de fouille de données, en caractérisant le comportement des internautes dans des contextes précis, permettent de mieux cibler les annonces promotionnelles.

Ce principe s'applique aussi à plus petite échelle : les sites de questions-réponses (Stackoverflow) ou de recommandation de sites (Reddit) sont aussi fondés sur l'utilisation des avis des utilisateurs et leur caractérisation pour classer les meilleures réponses ou suggestions et ainsi amener un meilleur confort d'utilisation. La qualité des réponses entraîne une audience accrue qui entraîne une meilleure qualité.

L'application de ce principe permet d'accéder à des coins insoupçonnés de l'intelligence artificielle. Ainsi, la traduction automatique fondée sur l'apprentissage statistique implémentée dans Google translate. Elle utilise aussi

une gigantesque base documentaire sur laquelle apprendre des traductions et le retour des internautes corrigeant les résultats.

## Le web sémantique

Il y a plus de 10 ans, Tim Berners-Lee, l'homme à l'origine du web, lançait l'idée du web sémantique. Le mot sémantique n'était pas forcément le mieux choisi car il est utilisé de différentes manières, mais ce ne sera pas le premier ni le dernier. Il s'agissait de mieux qualifier l'information disponible sur le web de telle sorte que l'on puisse développer des algorithmes permettant d'en tirer parti. Les deux résultats recherchés étaient une recherche améliorée (il est plus facile d'obtenir l'information recherchée) et une plus grande interopérabilité (il est possible de l'utiliser en conjonction avec d'autres informations). L'exemple paradigmatique du web sémantique était celui de la composition automatique de services pour planifier un voyage.

Le travail autour du web sémantique a permis de développer, souvent sous l'égide du W3C, des langages permettant de représenter formellement la connaissance dans le contexte distribué qu'est le web. Le cœur des technologies du web sémantique est donc composé de :

**RDF (Resource description framework)** pour représenter l'information sous forme de graphes ;

**RDFS/OWL (Web ontology language)** pour modéliser le domaine de ces informations ;

**SPARQL (Sparql query language)** pour interroger les sources d'information ;

**Alignements** pour exprimer les relations entre ontologies.

Il existe d'autres langages complémentaires (SKOS, RDFa) venant compléter ceux-ci. Des analyseurs, raisonneurs, évaluateurs pour ces langages sont disponibles et utilisés. Les technologies sémantiques développées pour le web sémantique ne sont pas cantonnées à l'implémentation d'un web sémantique. Ainsi, elles sont impliquées dans une myriade d'applications particulières :

**Services web sémantiques** pour décrire les services ;

**Systèmes pair-à-pair sémantiques** pour annoter les ressources partagées ;

**Réseaux sociaux sémantiques** pour représenter les relations sociales ;

**Réseaux sociaux sémantiques** pour représenter les relations sociales ;

**Bureau sémantique** pour décrire l'information personnelle (agenda, répertoire, etc.) ;

**Intelligence ambiante** pour exprimer l'information provenant de l'environnement ;

**Web des données (liées)** pour publier les données.

On pourrait estimer qu'autant de types d'applications tend à fragmenter le domaine et à entraver l'avènement d'un web sémantique. Mais l'utilisation de technologies communes fait que les sources d'informations développées dans un cadre sont exploitables dans un cadre différent. Ainsi, une ontologie géographique développée pour exporter l'information dans le web des données est utilisable dans une application de recherche d'information ou d'intelligence ambiante.

Les technologies du web sémantique offrent donc un espace d'adressage gigantesque (permettant de référer à des ressources bien définies) et des formalismes interopérables : une gigantesque base de connaissance. L'inférence, à cette échelle, est peu raisonnable, mais beaucoup de travaux ont pour but de lier harmonieusement raisonnement local et raisonnement global. De nouveaux problèmes, comme ceux liés à l'hétérogénéité de contenu entre sources de connaissances autonomes, viennent se poser aux chercheurs.

Les mêmes compromis qu'en représentation de connaissance sont à l'œuvre dans ces langages : expressivité contre efficacité (ou décidabilité). Mais le gigantisme et la décentralisation du web repose le problème de la robustesse, offertes par les techniques statistiques évoquées dans la section précédente, contre la précision, apportée par les techniques du web sémantique. C'est certainement en articulant les deux approches que l'on obtiendra des résultats spectaculaires.

## Le web des données

Le web sémantique n'a pas bénéficié de l'effet d'entraînement du web. Sans doute l'élaboration d'ontologies et l'expression de l'information dans les langages du web sémantique est-elle une étape plus difficile que le codage en HTML. À l'instar du web, le web sémantique ne sera intéressant que lorsque suffisamment de données y seront disponibles.

C'est pourquoi le principe du web des données ont été proposés. Il s'agit de publier des données sur le web de telle sorte que :

- elles se réfèrent à des ressources identifiées ;
- les identificateurs permettent d'obtenir une description de la ressource ;
- les données publiées contiennent des liens vers d'autres jeux de données publiés.

Les technologies du web sémantique sont mises à profit dans ces jeux de données en identifiant les ressources par des URI, déréférencés en RDF via HTTP et en exprimant les liens à l'aide du prédicat OWL `sameAs`. Ces principes

ont été adoptés par d'important pourvoyeurs de données. C'est le cas des dépositaires de données publiques, d'abord dans les pays anglo-saxons avec la publication des données data.gov et data.gov.uk mais maintenant dans le monde entier. C'est aussi le cas d'entreprises de presse telles Reuters, la BBC ou le New-York Times qui proposent leurs articles dans lesquels les entités nommées sont identifiées de façon unique. De nombreuses sources de données d'intérêt général existent permettant de disposer d'identifiants de référence pour de nombreuses entités. On mentionnera dbpedia qui extrait ses descriptions de wikipedia ou geonames capable d'identifier des localisations géographiques.

À partir de ces données soigneusement publiées dans les formalismes précis du web sémantique, de nombreuses applications se développent qui tirent parti des liens entre les différents jeux de données. Ces applications vont de la visualisation de ces données sur des cartes, des échelles temporelles ou des graphiques à leur traitement plus automatique par l'ajout d'ontologies ou de règles capable d'inférer à partir des données disponibles.

La disponibilité de telles quantités de données permet de surcroît d'appliquer les techniques du web d'une manière beaucoup plus assurée. Il est ainsi possible de chercher dans les données disponibles des corrélations entre les votes d'un député et les financements qu'il reçoit de sociétés (pas en France, c'est vrai).

### Libérer l'intelligence des réseaux sociaux

Un des aspects très populaires du web à l'heure actuelle est celui des réseaux sociaux (Facebook, Twitter, LinkedIn, etc.). Leur principe est de matérialiser les liens interpersonnels. Le développement d'interfaces très faciles à utiliser a très certainement contribué au succès de ces applications.

Malheureusement, celles-ci restent fermées : les serveurs des sociétés développant ces applications captent les profils et relations de leurs utilisateurs. Ceci revient à recréer un web correspondant à chacun des réseaux sociaux au lieu du système d'information distribué qu'il était à l'origine. Le modèle de ces sociétés est de tirer parti des techniques développées dans les parties précédentes pour vendre des services à valeur ajoutée à des tiers.

Ces services de réseaux sociaux posent en particulier deux problèmes :

- Le manque d'interopérabilité : ces réseaux étant, selon la formule consacrée, des jardins clos, passer de l'un à l'autre est rendu coûteux. Il faut donc choisir le sien ou se résoudre à maintenir manuellement plusieurs profils. Cela restreint l'exploitation de cette «sagesse des foules» à quelques opérateurs ou à des ap-

plications cantonnées à un système particulier (ainsi l'expérience de classification fellows sur facebook : <http://fellows-exp.com/>).

- Le manque de respect de la vie privée : les utilisateurs sont amenés à confier aux sociétés en question, des informations qu'ils ne voudraient confier qu'à certaines personnes (leurs amis). Ceci est un problème qui se révèle lorsque les sociétés confient, volontairement ou involontairement, cette information à des tiers.

Ces problèmes ne sont pas uniquement théoriques et tendent à s'accroître dans l'utilisation des téléphones : il devient de plus difficile de contrôler quelle information stockée sur ces appareils est accessible et par qui (applications, opérateurs, autres utilisateurs, etc.). En général, la lecture des conditions d'utilisations n'aide pas à en avoir plus. Pourtant, ces deux aspects devraient pouvoir être pris en compte par des technologies dédiées et, en particulier, celles développées dans le cadre du web sémantique. D'une part, on l'a vu, il existe des technologies versatiles pour exprimer le type d'information que l'on exprime sur les réseaux sociaux. RSS (Really Simple Syndication) a d'abord été développé en RDF, FOAF (Friend-of-a-friend) est un schéma de base pour décrire les réseaux sociaux (profils et relations). Elles peuvent permettre cette interopérabilité.

Bien entendu, cette interopérabilité n'est pas sans danger : c'est très clairement une menace pour le caractère privé de l'information.

Mais les technologies sémantiques sont aussi particulièrement adaptées pour exprimer les politiques de chaque individu quant à la divulgation de l'information dont il dispose et pour contrôler de manière simple la diffusion de son information, personnelle ou non, dans des sphères particulières. En effet, elles sont suffisamment puissantes pour décrire très précisément les conditions de diffusion («aux membres de ma famille restreinte et à mon médecin») et suffisamment flexibles pour définir des catégories adaptées («à mes connaissances se trouvant dans un rayon d'un kilomètre»). Elles permettent donc de définir des politiques de diffusion qui expriment un contrôle très fin de l'information : «mes disponibilités au travail peuvent être communiquées à mes collègues pour organiser une réunion de travail, pas à un fournisseur pour me démarcher».

En ce qui concerne l'implémentation de telles perspectives, il existe déjà des solutions, intégrées dans l'infrastructure du web, telles que FOAF+SSL permettant d'identifier les connexions, et donc les demandes d'informations, en fonction des relations indiquées à l'aide de fichiers FOAF. Les travaux développés en systèmes multi-agents peuvent aussi être utilisés pour négocier l'accès à l'information, soit

sur la base de politiques, soit sur celle de principes plus généraux.

Cette courte présentation est délibérément dénuée de références. Le lecteur intéressé pourra utiliser le web pour trouver de nombreux points d'entrée.

### Addendum : le meilleur chemin du sous-bois au palais

On m'a demandé d'illustrer mon propos par quelques applications. En particulier, l'une des suggestions était : « J'ai pris une photo d'un champignon et j'aimerais savoir ce que c'est ». Que peut le web sémantique ou la sagesse des foules dans ce cas ? Il me semble que cela dépend. Identifier un objet à partir d'une photographie est un problème délicat. D'autre part, il faut savoir ce que signifie identifier. La réponse peut être apportée avec différents niveaux de détails : « c'est un champignon », « c'est un cèpe », « c'est un *Boletus edulis* », « c'est le champignon photographié par Hans dans la forêt de Tillegem » me semblent des réponses appropriées. Enfin, la question n'est peut-être pas la vraie question qui pourrait être : puis-je le ramasser (légalement, sanitaire ?), comment puis-je le cuisiner ?

À l'heure actuelle, il est possible de confier cette photographie à la sagesse des foules : la soumettre à un forum consacré à la mycologie ou à la cuisine risque d'amener la réponse appropriée assez rapidement. Au pire, elle ouvrira une controverse (vraisemblablement plus dans le forum consacré à la cuisine) qui ne pourra être qu'enrichissante. Une fois identifiée, la soumettre à un moteur de recherches ouvrira de nouveaux horizons ; il sera aussi plus aisé de chercher l'objet au sein du web sémantique. Dbpedia offrira un premier identifiant

([http://dbpedia.org/resource/Boletus\\_edulis](http://dbpedia.org/resource/Boletus_edulis)) à partir duquel naviguer. L'information risque d'y être plus pauvre et moins adaptée que celle fournie dans le web des humains. Cependant, l'utilisation du web des données à partir de tels identificateurs permettra plus sûrement de faire le lien entre la cuisine, la mycologie, la randonnée et la médecine que l'utilisation des forums. On peut noter que sous dbpedia il appartient à la catégorie "French\_cuisine" alors que la page en Français de wikipedia ne mentionne que brièvement les utilisations culinaires.

Mais le web sémantique, s'il permet de répondre à une telle demande de la part d'un spécialiste (à l'aide de SPARQL) nécessite des applications plus adaptées à l'accès du grand public. Une telle application pourrait permettre d'enrichir automatiquement ma base de photographies de champignons (pour l'instant à partir de leurs noms). Il est alors possible de les identifier, d'en ajouter les caractéristiques à partir de dbpedia, d'identifier les recettes dans lesquelles il intervient et de signaler l'endroit et la date à laquelle le spécimen a été photographié.

Malheureusement, le gestionnaire de photographies du téléphone de Hans n'est pas capable d'échanger de l'information avec son navigateur autrement qu'en envoyant le cliché. Il ne peut pas non plus, produire des annotations du cliché qui permettront à d'autres utilisateurs du web (ou à lui-même lorsqu'il cherchera des photos de champignons) de le trouver facilement.



Crédit photo : © Hans Hillewaert, 2005 / CC-BY-SA-3.0

# Conception Inventive : l'Intelligence Artificielle aide les ingénieurs

F Rousselot\* C Zanni-Merk\* D Cavallucci\*\*

\* LSIIT Equipe FDBT (UMR CNRS 7005)

\*\* LGECO

La TRIZ [1,2] est une approche théorique russe particulièrement bien outillée qui tend à rationaliser le processus d'invention. Elle a été conçue en URSS par l'ingénieur Genrich Altshuller dans les années 80 et développée jusqu'à sa mort en 1998. Cette théorie présente le processus de l'invention comme étant quasiment algorithmique, cela heurte bien sûr tout esprit cartésien normalement constitué. Afin d'y voir plus clair, quelques chercheurs du LGECO et du LSIIT ont décidé de se consacrer à son étude et à sa formalisation.

Force est de constater que cette théorie a permis le dépôt de nombreux brevets en URSS et maintenant dans à peu près tous les pays d'Occident et d'Asie où elle se répand.

La TRIZ repose sur l'étude de dizaines de milliers de brevets, en voici quelques traits principaux : - une théorie de l'évolution des artefacts permet de prévoir dans quelles directions vont éventuellement évoluer les systèmes techniques - il s'agit de déterminer la cause principale du blocage qui est généralement une contradiction (on désire quelque chose et son contraire), la TRIZ s'appuie en effet sur la dialectique. Le créateur de TRIZ a remarqué également que le principal obstacle à l'invention est l'inertie psychologique qui incite à chercher dans ce qu'on connaît le mieux et pas ailleurs. Aussi a-t-il imaginé les moyens de pouvoir chercher ailleurs (dans d'autres domaines) des solutions analogues.

La méthode, bien que peu formelle, a un certain nombre d'aspects qui font penser à des concepts d'Intelligence Artificielle. En effet, elle est présentée comme une méthode de résolution de problèmes, avec une phase de modélisation où le concepteur est poussé à reformuler son problème initial. Cette phase est suivie d'une phase de résolution qui utilise des ressources très comparables à des bases de connaissances. Enfin, la base du fonctionnement du processus est une sorte de raisonnement par analogie très original, car les modèles génériques de TRIZ permettent de se placer à un niveau d'abstraction complètement indépendant du domaine. Finalement, l'application du processus de résolution aboutit non pas à une solution concrète du monde

réel, mais à un concept de solution, tout comme dans certains programmes d'IA qui font de la conjecture de concepts (cf Eurisko de D Lenat [3])

Notre petit groupe de recherche, qui compte un spécialiste praticien de la TRIZ, s'est attaché depuis maintenant 5 ans à la formalisation des notions essentielles et des bases de connaissances ainsi qu'à l'extension de la méthode aux problèmes complexes. Nous avons développé sur ces bases une méthode appelée Méthode de Conception Inventive (MCI) applicable à des problèmes complexes. Le travail mené au sein d'un consortium qui regroupe Arcelor-Mittal, EADS et Alstom a permis de financer le développement d'un logiciel appuyé sur ces recherches, de fournir un certain nombre d'exemples pour le tester, l'affiner et finalement l'évaluer.

Ce logiciel nommé TRIZAcquisition [4] met en œuvre l'ontologie des notions TRIZ que nous avons créée [5, 6] ; il permet de fournir une aide précieuse au concepteur formé à la TRIZ qui travaille sur un projet de conception avec des experts du domaine. Cette réalisation est la première du genre, les logiciels du commerce existant prennent en effet en compte des aspects particuliers de la méthode et sont plutôt axés vers l'accès à des bases de données. TRIZAcquisition est capable de diriger efficacement le praticien de la phase de formulation du problème à sa résolution en tenant compte du contexte propre de son application.

La réalisation de ce logiciel ouvre la porte à de nombreuses perspectives : prise en compte de stratégies différentes dans l'application de la méthode, acquisition de connaissances semi-automatiques à partir de brevets, souplesse dans l'application et dans l'enseignement de la méthode.

Le module d'acquisition des connaissances à partir des brevets est à l'état de prototype [7], il fournira une aide précieuse au concepteur amené à faire l'état de l'art sur un artefact donné ; en effet, il doit parfois dépouiller des centaines de brevets. La connaissance qu'on trouve dans les brevets fait état des évolutions passées d'un artefact et per-

## CONCEPTION INVENTIVE : L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AIDE LES INGÉNIEURS

met de détecter quels sont les paramètres sur lesquels on a un levier d'action et leurs effets en terme d'amélioration et de détérioration d'autres paramètres.

Toujours dans une perspective applicative, il reste encore à ce jour à perfectionner le modèle des connaissances de résolution, afin de permettre de trouver des éléments de résolution autres que dans la physique ou la chimie (cf la base des effets physiques ou chimiques [8]), mais également en biologie. Ces efforts pour agrandir le champ de la résolution permettront d'agrandir les bases de connaissances, jusque là essentiellement axées vers la résolution de problèmes de conception de systèmes techniques, vers la résolution d'autres types de problèmes : pourquoi pas informatiques ou organisationnels.

### Références

- [1] Altshuller, G.S. "The Innovation Algorithm; TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity". 1973
- [2] Altshuller, G.S. "Creativity as an Exact Science. *Gordon and Breach Scientific Publishers, New York*, 1984.
- [3] Lenat D. B. : Eurisko "A program which learns new heuristics and domain concepts". *Artificial Intelligence*, 21 : 691-697, 1983.
- [4] Zanni-Merk C., Rousselot F, Cavallucci D. KAID " A tool for conducting the use of inventive design in leading complex studies," *in proceedings of SKIMA 2008*, 2008
- [5] Zanni-Merk, C., Cavallucci, D., Rousselot, F. : " An Ontological Basis for Computer Aided Innovation." *J. Computers in Industry*. 60, 563-574 , 2009
- [6] Zanni-Merk, C., Cavallucci, D., Rousselot, F. : " Use of Formal Ontologies as a Foundation for Inventive Design Studies." *J. Computers in Industry*. 2010
- [7] Rousselot F, Zanni-Merk C., Cavallucci D., "Acquisition of Evolution Oriented Knowledge from Patent Texts", *in proceedings of 20th CIRP Design Conference*, 2010
- [8] Savransky, S.D. : Engineering of creativity : "Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving." *Boca Raton, Florida* (2000)

# L'Intelligence Artificielle au service d'écosystèmes de l'innovation

Eunika Mercier-Laurent [eunika.mercier-laurent@univ-lyon3.fr](mailto:eunika.mercier-laurent@univ-lyon3.fr)

Au XXe siècle, l'innovation était l'affaire des centres de recherche des grandes entreprises et des laboratoires publics. Désormais elle sort des lieux confidentiels : on innove en organisation, en management, en modèles économiques, dans la manière de gérer le capital intellectuel, en formation, en services, et même dans le jardin, le bricolage ou dans la gastronomie. Désormais l'innovation fait partie de la stratégie gouvernementale ; elle est même considérée comme le moyen de construire une économie forte et prospère. L'Union Européenne devrait être transformée en une société de la connaissance innovante basée sur une économie du savoir<sup>4</sup>. Le terme est de plus en plus utilisé en communication, dans les slogans publicitaires, sur les emballages de produits. Une recherche sur Google donne 123 millions de références, sur Alexa plus de 60 millions et sur Yippy plus de 38 millions. Depuis une dizaine d'années, les rapports, les ouvrages, les blogs et les groupes d'intérêt sur les réseaux sociaux se multiplient : même si beaucoup sont consacrés à l'innovation technologique, tous les domaines d'activités sont concernés.

Les définitions de l'innovation sont aussi multiples et varient en fonction de métier, de point de vue de la personne, domaine ou groupe qui en parle<sup>5</sup>. Parmi les plus connues sont celle de Schumpeter (1912) ; les plus courantes sont : le processus de l'idée au produit ou de l'idée au marché. Nous proposons la définition suivante "de l'idée au succès durable de tous les participants" [Mer 07].

Il s'agit d'un processus commençant par une idée et qui doit apporter un succès aussi bien matériel qu'immatériel à tous les participants, internes et externes à une entreprise ou une organisation. Ce processus est inscrit dans une dynamique de l'innovation qui ne s'arrête jamais, car le succès doit être durable. L'innovation est aussi une attitude à apprendre et à pratiquer au quotidien, elle fait partie de la culture de la Société de la Connaissance.

Les approches et techniques de l'intelligence artificielles peuvent jouer des multiples rôles dans les deux étapes principales du processus de l'innovation, qui sont la créativité et la transformation de l'idée (Figure 1).

4. [http://ec.europa.eu/enterprise/e\\_i/news/article\\_9129\\_fr.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/e_i/news/article_9129_fr.htm)  
5. <http://www.entovation.com/innovation/10definitions.htm>

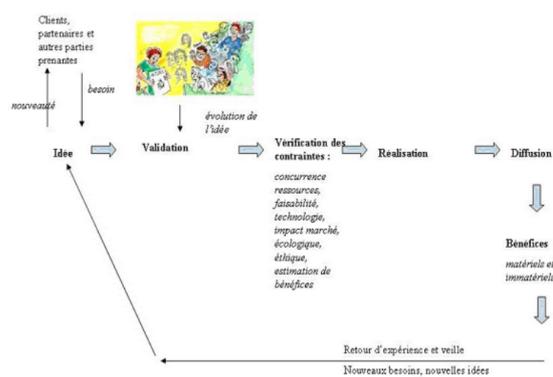


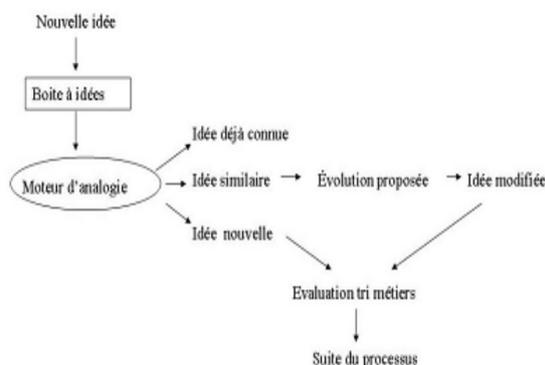
Illustration by Ron & Argy Dvir, from "In Search Of Innovation - a book for children and leadership executives" by Datas Amidon.

Figure 1. Processus de l'innovation (Mer 11)

## Créativité

Il s'agit de trouver des bonnes idées. Selon le type d'innovation pratiquée dans une organisation, différentes méthodes peuvent être utilisées, comme le brainstorming, le café de l'innovation, les 6 chapeaux d'Edouard de Bono, le TRIZ, le raisonnement par analogie et bien d'autres. Une idée peut avoir pour origine un besoin, une observation ou même un rêve. Tous les participants, y compris les parties prenantes sont la force de proposition. Des idées peuvent être nouvelles, transformées à partir des idées existantes ou venir même du passé. Une idée peut être enrichie ou transformée par les participants du processus pour devenir leur idée. Chacun ajoute son point de vue et ses connaissances. L'innovation devient alors co-innovation. La pratique de l'intelligence artificielle apprend à penser autrement. La capacité d'utiliser les deux cerveaux - gauche et droit simultanément et la flexibilité mentale sont à la base de la créativité. L'ordinateur sous ses multiples formes peut encore l'amplifier. Il peut également créer une intelligence collective. Le générateur d'idées, présenté sur la Figure 2 en

est un bon exemple. Il traite le recueil, l'évaluation et l'évolution d'une idée.



**Figure 2 Générateur d'idées**

Il a été choisi de modéliser les idées sous forme de cas, afin de pouvoir ensuite utiliser le moteur de recherche d'analogies. En voici un exemple de description d'un cas :

#### **Idée N° 7**

**Porteur :** Fabienne Dupont,

**Date de naissance de l'idée :** 3 mars 2011

**Descriptif :** (en quasi-langage naturel, dans une structure imposée pour la facilité de recherche)

**Finalité supposée :** produit, procédé, appareil, service

**Résultat d'évaluation technico-économique :** note datée

**Programme de recherche :** nom de projet

Le porteur d'idée remplit ainsi un e-certificat de « naissance ». Le moteur d'analogie compare immédiatement la nouvelle idée avec la base existante, pour vérifier, s'il n'y a pas déjà eu d'idées similaires. Si oui, elles peuvent être consultées et parfois on peut faire évoluer l'idée initiale ou faire naître d'autres idées (effet générateur). Le système construit un arbre généalogique de l'idée en cas de modification, fusion ou mutation. Sinon, elle est enregistrée dans le système pour être évaluée. Toute personne de l'entreprise peut consulter et renseigner la base d'idées. Les idées peuvent être discutées en groupe d'intéressés, directement, par courriel ou sur un wiki privé. La discussion a aussi un effet de brainstorming et peut modifier l'idée ou en générer d'autres. L'évaluation « tri-métiers » associe dans le comité représentants R&D pour valider la faisabilité de l'idée, représentants du marketing/vente pour apporter les éléments de connaissance sur le marché potentiel et une personne DRH pour prévoir les ressources en compétences, nécessaires à la transformation de l'idée en produit ou en service et ensuite en revenus. Une idée considérée intéressante par le comité passe en programme de recherche. Elle peut être mise en attente et « réveillée » par un

programme spécifique si l'un des attributs bloquant change avec le temps. Elle peut être rejetée, car considérée comme étant hors stratégie de l'entreprise. Dans ce cas il est parfois intéressant de réaliser cette idée à l'extérieur de l'entreprise. Une idée peut en cacher une autre — le simple fait de regarder un ensemble d'idées peut en générer d'autres par amélioration, modification ou inspiration. Mais elle peut inspirer également un changement organisationnel ou une autre façon de travailler.

## Transformation de l'idée

L'idée de départ, validée par les parties prenantes va maintenant être réalisée (Figure 1). Dans le cas où elle émane d'un client, une partie du marché est déjà assurée, mais elle peut en ouvrir d'autres, grâce aux partenaires impliqués dans le processus. Par exemple, Michelin, l'inventeur du système PAX, s'est associé à Pirelli et Goodyear pour assurer une seconde source d'approvisionnement à son client Renault, mais aussi pour prendre ensemble des parts du marché.

La vérification des contraintes est partiellement faite en ce qui concerne le marché, la technologie et les ressources disponibles. Les outils de l'intelligence économique intégrant des techniques d'IA, comme le « text mining » basés, entre autres, sur le traitement du langage naturel, facilitent la veille technico-économique. Ils permettent de trouver des concurrents ou des partenaires, de découvrir des nouvelles techniques ou des modèles économiques. La veille technico-économique continuera, avec l'aide de tous les participants, tout au long de ce processus récursif. Toute activité d'innovation génère un impact sur l'environnement — il doit être estimé au début et tout au long du processus. A ce stade on vérifiera l'impact sur les écosystèmes du produit ou service à venir. C'est là où les technologies de l'intelligence artificielle, comme la programmation par contraintes, les systèmes multi-agents ou le raisonnement par analogie, associées aux techniques du traitement d'image (simulation graphique), peuvent apporter une aide considérable. Une estimation des bénéfices attendus, faite à cette étape fournira un élément de décision pour le développement à venir. En fonction de l'objet de l'innovation, le développement utilisera les connaissances plus ou moins complexes. Les technologies du traitement de la connaissance peuvent apporter une aide considérable en conception, planification et gestion du projet. Le retour d'expérience est pris en compte tout au long du processus et plus particulièrement lors de la distribution et l'exploitation, où toute remarque venant du terrain contribuera à l'amélioration et à l'évolution de l'objet de l'innovation.

## L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AU SERVICE D'ÉCOSYSTÈMES DE L'INNOVATION

Pour en savoir plus

**Mer 11** Eunika Mercier-Laurent. Les écosystèmes de l'innovation, Hermès Sciences, 2011.

**Mer 07** Eunika Mercier-Laurent. Rôle de l'ordinateur dans le processus global de l'innovation à partir des connaissances HDR Université Lyon 3, 2007, <http://emlkm.free.fr/fichiers/hdr-eunika.pdf>

# Création sonore numérique et collections : l'ordinateur artiste

Alain Bonardi

Université Paris 8 & Ircam

[alain.bonardi@ircam.fr](mailto:alain.bonardi@ircam.fr)

Francis Rousseaux

Université de Reims Champagne-Ardenne & Ircam

[francis.rousseau@ircam.fr](mailto:francis.rousseau@ircam.fr)

**Résumé** Les collections d'objets numériques sont placées au croisement interdisciplinaire des sciences cognitives d'une part et de l'informatique d'autre part, dans le domaine de la classification et de la recherche d'informations. D'un côté, les psychologues spécialistes de l'enfance comme Piaget ont montré que les collections fonctionnent sous un double mode, figural - c'est-à-dire s'inscrivant dans un espace, et à l'inverse non-figural. De l'autre, les informaticiens cherchent d'autres organisations des informations que les habituelles grilles de classification établies sur des critères posés a priori : il s'agit d'introduire pleinement l'utilisateur et ses désirs dans les systèmes automatisés, tout en essayant bien sûr de lui éviter les coûts exorbitants qui menacent aussitôt de s'ensuivre. Pour cela, les interfaces seront encore à améliorer, et nous n'en sommes qu'au début d'un façonnage d'outils numériques. Après tout, les usages sauront bien nous inspirer collectivement, comme cela fut bien souvent le cas par le passé : nous devons à Philippe Aigrain la mention de la référence historique aux Locus Communis, ces livres collections d'extraits de textes annotés, copiés ou découpés selon des critères personnels avant même l'imprimerie parfois, qui répondaient déjà à la nécessité de gouverner une surabondance d'information. Collections croisées en vérité, puisque la collection d'annotations doublait la collection d'extraits [BLA 2010]. Si la constitution et le parcours dans les collections (numériques ou pas), sont des questions qui rejoignent celle, plus vaste, de la synthèse, il est intéressant de remarquer comment les collections de fichiers sonores digitalisés sont devenues un cadre artistique pour l'exploration de formes ouvertes et pour la synthèse sonore en particulier. Dans cet article, nous rendons compte de caractéristiques communes à toutes les collections, avant de montrer leur spécificité dans le monde du son numérique : nous évoquerons des applications comme ReCollection et Catart.

## La fascination des artistes pour les régimes de la collection

Alors que le sens commun voit généralement dans les collections leur aspect ordonné et rangé, les artistes ont au contraire été très sensibles à leur aspect rebelle, qu'ils ont évoqué à leur façon. Ainsi, Walter Benjamin [BEN 1989], Gérard Wajcman [WAJ 1999] et d'autres [POM 1987] ont-ils évoqué les collections d'une manière originale. Voici par exemple les analyses de Gérard Wajcman (Catalogue de l'exposition inaugurale de la Maison rouge) sur le statut de l'excès dans la collection : « L'excès dans la collection ne signifie pas accumulation désordonnée ; il est un principe constituant : pour qu'il y ait collection – aux yeux même du collectionneur – il faut que le nombre des œuvres dépasse les capacités matérielles d'exposer et d'entreposer chez soi la collection entière. Ainsi celui qui habite un studio peut parfaitement avoir une collection : il suffira qu'il ne puisse pas accrocher au moins une œuvre dans son studio. Voilà pourquoi la réserve fait partie intégrant des collections. L'excès se traduit tout autant au niveau des capacités de mémorisation : il faut, pour qu'il y ait collection, que le collectionneur ne puisse pas se souvenir de toutes les œuvres en sa possession [...]. En somme il faut qu'il y ait assez d'œuvres pour qu'il y en ait trop, que le collectionneur puisse oublier une de ses œuvres, ou qu'il doive en laisser une part hors de chez lui. Disons-le d'une autre façon : pour qu'il y ait collection, il faut que le collectionneur ne soit plus tout à fait maître de sa collection. » Comme le dit encore Gérard Wajcman, pensant sans doute à Gertrude Stein (Collection), « Si jamais personne ne regarde une collection, c'est qu'une collection n'est pas un tout d'œuvres, mais une série indéfinie d'objets singuliers, une œuvre + une œuvre + une œuvre ... ». La collection, en alternative à l'ontologie formelle, apparaît comme un équilibre métastable émanant

d'une tension productive entre structures catégoriques (par exemple telles qu'exprimées dans le catalogue) et singularités (les œuvres, irréductibles à toute classification). À l'opposé du tout organique, la collection n'existerait que pour chacune de ses parties (à l'image de la figure du troupeau dans l'évangile selon Matthieu) et, contrairement à l'ensemble, elle n'existe pas comme unité normative et égalisatrice. La donation de la collection (sa réception au visiteur ou au collectionneur lui-même, que ce soit en acte d'acquisition ou même de recollection) apparaît en effet sous les espèces paradoxales de l'impossibilité d'une intelligibilité comme un tout cohérent, hormis sous le régime réducteur de la gestion. Car de ce point de vue, même le fatras se donne comme un tout cohérent : les objets épars rejoignent le fatras à partir du prédicat "être différent", mais ils deviennent semblables dans un second temps en tant qu'ils ont en commun d'être différents, formant ainsi ce que Jean-Claude Milner appelle une classe paradoxale.

### Les collections numériques, entre ordre et désordre

L'informatique « à objets » a été inventée pour simuler nos activités de rangement d'objets dans des structures de classes identifiées et étiquetées [BAU 1968] [GRA 1994] [PER 1998]. Son succès fut, comme l'on sait, immédiat. Une tendance innovante se fait jour depuis peu, caractérisée par la mobilisation de l'informatique « à objets » pour ranger nos collections, considérées comme des amas d'objets en attente de rangement dans des classes ad hoc, qu'il s'agirait cette fois de construire en parallèle. Comme le remarque François Pachet [PAC 2004], « les problèmes nourriciers de l'informatique évoluent avec la société qui les a créés », et l'industrie de l'entertainment, désormais complètement numérique nous stimule par ses problématiques de classification, de recherche, voire de création. Les collections semblent en fait plus proches de l'ordre classificatoire que du désordre (qu'il se donne comme tas, amas, cohorte, vrac ou autres fatras) : à tout le moins, une collection paraît-elle toujours viser un ordre, même s'il reste provisoirement incomplet et inachevé. Le cabinet de curiosité des savants n'est-il pas exemplaire de la destination des collections, qui est de tomber à terme sous une classification, sous le coup d'une procédure de catégorisation et, finalement, de tri ? Quant aux collections de timbres (pour prendre un autre exemple), n'attendent-elles pas leur complétude catégorielle par l'achèvement des séries commencées ? En un certain sens donc, il était inévitable qu'on finisse par rapprocher les collections des classes, car à bien des égards elles en paraissent de pâles imitations. Pourtant,

quelque chose résiste à ce rapprochement, et quelque part les collections demeurent sournoisement rebelles à l'idée même de classification. C'est ainsi qu'elles peuvent se trouver repoussées jusqu'à côtoyer les singularités, partageant avec elles l'étrange sortilège d'échapper définitivement à toute tentative de rangement (cf. [ROU 2006] les exemples du voyage, de l'opéra, du donjuanisme et du troupeau évangélique).

### Comment les informaticiens traitent-ils les collections ?

Sans doute impressionnés par les artistes et les philosophes qui se sont interrogés sur l'étrange statut des collections, les concepteurs de programmes « à objets » ont deviné que la modélisation des collections d'objets devait reposer sur des entités informatiques plus ou moins hybrides alliant, aux caractéristiques provenant de l'ordre privé auquel sont habituellement référés les objets, des caractéristiques issues des activités dans lesquelles les objets collectionnés se trouvent collectivement engagés. Une approche séduisante parce que conservatrice et parcimonieuse. Souvent, l'approche implicitement retenue pour caractériser ainsi une collection fut parcimonieuse, et a consisté à sur-déterminer l'organisation de référence privée des objets collectionnés par une description minimale du contexte d'activité collectif, quitte à présumer du devenir-classe de ladite collection. Un exemple-clé est l'organisation de fichiers de morceaux de musique sur ordinateur, que nous allons croiser de nombreuses fois au long de ce texte. Force est de constater que cette pratique, qui présente il est vrai l'avantage certain de ne pas contrarier fondamentalement la modélisation « à objets », donne lieu à des applications informatisées qui, en les rabattant sur des besoins classiques de type classification, présument souvent des attentes profondes des collectionneurs, pour le meilleur ou pour le pire : l'utilisation d'outils d'indexation de morceaux de musique peut mobiliser l'auditeur à un point que l'enjeu d'organisation des collections se substitue subrepticement à l'écoute. C'est ici qu'il faut distinguer les collections figurales des collections non-figurales. Cette subtile distinction, introduite dès les années soixante-dix par Piaget et ses équipes de recherche en psychologie de l'enfant [PIA & INH 1980], éclaire en effet la situation d'un jour intéressant : s'il existe certes des collections (non-figurales) qui s'accommodent en effet plutôt bien de l'approche parcimonieuse précitée parce qu'elles sont affranchies de toute intrication avec leur spatialisation (et en cela déjà toutes proches des classes, dont elles n'ont à envier que la complétude formelle), il existe aussi des collections dites figurales parce que leur dispo-

sition dans l'espace se fait selon des configurations spatiales qui prescrivent leur signification concurrentement aux considérations typiques de la signification des classes.

### Collections figurales versus non-figurales

Or ce sont précisément ces collections figurales dont l'informatique « à objets » se laisse de plus en plus fréquemment entraîner à promettre la modélisation efficace, poussée par une demande sociale accrue que concernent directement la fouille de données numériques en ligne, la navigation interactive dans des contenus multimédia ou la recherche d'information au travers de sources multiples [PED 2006] [ROU 2005]. En effet, qu'est-ce qu'écouter de la musique en ligne si ce n'est constituer une collection, quelquefois certes fugace et éphémère, mais toujours figurale en ce sens que sa constitution singulière, sous condition fragile de la continuation, dépend étroitement de la figure temporelle de son déploiement dans la durée? Reste que, et on l'aura deviné, les collections figurales s'accommodent très mal de leur assimilation à des collections non-figurales ou à des classes (même si selon Piaget, elles ont vocation à devenir classes, de même que les sujets vont se développer psychiquement pour améliorer leur capacité cognitive à classer). C'est que, selon Piaget toujours, les collections figurales sont vécues sous le signe d'une indifférenciation radiale, qui les rend récalcitrantes à la modélisation classique.

### Nous sommes tous des collectionneurs

Dans la vie courante, nous sommes souvent confrontés à des collections, même lorsque nous sommes loin de l'imaginer et d'en faire état. Et cela ne concerne pas seulement le collectionneur constituant une collection d'œuvres d'art (de peinture par exemple) ou le visiteur parcourant une collection accrochée à l'occasion d'un vernissage, ou encore le transporteur chargé de déplacer cette collection pour l'acheminer vers un nouveau lieu d'exposition. Les collections sont beaucoup plus présentes dans nos vies quotidiennes que nous le pensons généralement. D'ailleurs, dans le domaine en pleine expansion des outils d'aide à l'interprétation, de nombreuses applications informatisées actuelles ou potentielles, à y bien regarder, nous assistent dans nos rapports constitutifs de collections. Un passionné de musique qui recherche des pièces au travers d'outils interactifs de fouille par les contenus, un étudiant qui élabore un document en naviguant sur la toile pour inspirer sa création, muni par exemple d'un outil comme Zotero<sup>TM</sup> (<http://www.zotero.org/>)

ou encore un ingénieur qui interagit avec ses collègues pour élaborer un plan de travail, tous ces acteurs procèdent à des constitutions de collections. Pourquoi laissons-nous entendre le primat de la collection sur les objets collectionnés eux-mêmes? D'ordinaire, on comprend la collection comme collection de quelque chose, et ces choses sont pensées comme préexistant à la collection, plus originaires qu'elle en quelque sorte. Entendons-nous bien : en affirmant le primat de la collection sur les objets collectionnés, il n'est pas simplement question de proposer un amendement lexical pour parler de collections là où l'on parle habituellement d'ensembles, de classes, de groupes, de catégories, d'amas et d'objets. Ce qu'au contraire nous voulons montrer en introduisant la notion de collection à l'origine de la pensée des choses, c'est que sa promotion à la racine de nos dispositifs catégoriels et conceptuels permet de revisiter le réel de nombre de nos activités cognitives, et par suite de viser avec plus d'exigence l'adéquation de nos outils d'aide informatisée à cette réalité. Au fond, nous agissons, vivons et imaginons toujours dans une perspective donnée, dans un cadre donné, limité et fini ... Bien sûr ce cadre n'en est pas figé pour autant, et évolue corrélativement aux options d'action que nous prenons... Mais il y a toujours-déjà un cadre, une mise en scène, un projet, un plan, une intention qui dimensionne notre investissement et notre rapport aux choses. Et c'est la raison pour laquelle nos activités interprétatives sont toujours-déjà engagées dans leur continuation et leur perduration, et ne prennent sens que dans l'horizon et la perspective des tentatives qui les ont précédées. Les fictions opérationnelles de la sphère du social sont souvent mobilisées pour sanctuariser nos expériences individuelles, en proposant certes de particulariser nos vécus singuliers, mais surtout en offrant des « sorties honorables » à nos expériences potentiellement dévastatrices. C'est ainsi que l'on peut vivre de fortes émotions à l'opéra tout en comptant sur les entractes et la fin du spectacle pour nous extraire des situations fictives qui nous ont tant émus. Même si certaines d'entre elles laisseront des empreintes indélébiles sur nos affects ... Il est donc vain de chercher à décrire ou modéliser les sensations procurées par l'écoute musicale d'une pièce par une personne en faisant mine de croire que tout se passe dans le rapport immédiat et amnésique de cette personne à cet objet, sans antériorité de la relation et sans pratique typique de cette relation. Bref, ce que j'écoute dans telle pièce de musique s'inscrit dans un projet et hérite d'une conduite antérieure motivée et de projets orientés. C'est en ce sens précis que la pièce courante s'inscrit dans la collection des pièces déjà écoutées, et vient la compléter comme un tout aménageable encore [DEL 2003]. D'une certaine manière, écouter de la musique revient à collectionner des œuvres ou des parties d'œuvres, comme voyager revient à parcou-

# CRÉATION SONORE NUMÉRIQUE ET COLLECTIONS : L'ORDINATEUR ARTISTE

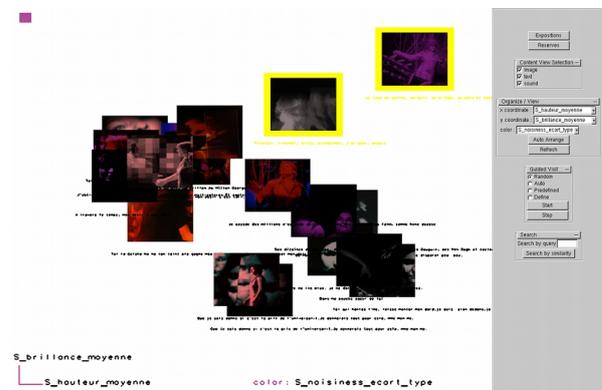
rir des situations qui « font motifs ». De quelle façon l'écoute d'un fragment renvoie-t-il à d'autres fragments ou à un projet? Qu'est-ce qui fait écho entre les fragments? L'écoute est-elle parfois guidée (en quête de cet écho)? Cela se joue-t-il seulement entre œuvres ou aussi dans l'écoute d'une œuvre (et donc alors dans sa composition ou improvisation antérieure)?

## Exemples d'applications : ReCollection et CataRT

### Parcours d'un opéra en forme ouverte avec ReCollection

Le logiciel ReCollection a été élaboré autour de l'opéra interactif en forme ouverte *Alma Sola*, musique d'Alain Bonardi, livret de Christine Zeppenfeld (2005). Cette œuvre a été dès le départ conçue en collection d'une vingtaine de fragments d'opéra, agencables selon n'importe quel ordre (seuls le début et la fin sont imposés). Chaque représentation de l'œuvre voit le rôle principal, un Faust féminin, construire un parcours, c'est-à-dire une séquence de fragments lyriques puisés dans le réservoir que constitue la partition. Pour présenter l'œuvre sous forme de borne interactive, mais aussi donner à éprouver cette construction interactive d'une forme lyrique dans le temps, nous avons conçu et réalisé une maquette d'application multimédia, permettant le parcours dans *Alma Sola*. Chaque objet de la collection numérique proposée représente un fragment d'opéra et est constitué d'une image, d'un son et d'un texte. Les images de la collection sont des photographies du spectacle. Les sons sont des enregistrements de quelques secondes, comportant une phrase chantée, avec un ou plusieurs instruments en accompagnement. Enfin, les textes reprennent les phrases chantées. A ces fichiers sont associés des descripteurs spécifiques à chaque média. Le logiciel organise deux types d'espaces pour ces fragments d'opéra : une ou plusieurs réserve(s) et une ou plusieurs exposition, et à chaque instant au moins un objet de la collection se trouve dans une de celles-ci. Le logiciel ReCollection permet de constituer une exposition en important/exportant des objets depuis ou vers la réserve, puis de répartir ces objets dans un espace à deux dimensions et demi (x, y et échelle), inspiré du logiciel Pad++. L'exposition est aussi un lieu d'exploration, autonome ou guidée, qui sera fortement dépendante de la répartition spatiale des objets préalable. Pour explorer l'exposition, l'utilisateur peut déplacer son point de vue horizontalement et verticalement, puis zoomer et dézoomer. Un mode de visite guidée permet de définir/suivre un chemin fixé parmi les objets. La répar-

tition des objets dans l'espace être automatique ou manuelle. Le système dispose les objets automatiquement et implémente deux modes d'actions classificatrices : par similarité calculée, et par contiguïté « désirée ». - La première méthode consiste à calculer les coordonnées spatiales de chaque objet de la collection, ainsi que sa couleur, en fonction des descripteurs sélectionnés par l'utilisateur. Par exemple (cf. figure 1), celui-ci pourra choisir d'affecter la hauteur moyenne à l'axe des abscisses, la brillance moyenne à l'axe des ordonnées, et l'écart type du degré de bruit à la couleur. L'utilisateur peut aussi affecter un seul des axes, pour aligner les objets sur une droite. Ce mode est celui de la similarité, relevant de l'aspect non-figural des collections.



**Fig. 1. Exemple de similarité calculée dans le logiciel ReCollection. Source : Benjamin Roadley.**

- La seconde méthode pour répartir automatiquement les objets consiste à permettre à l'utilisateur de sélectionner un échantillon de l'exposition. Une analyse est ensuite effectuée sur les descripteurs de ces objets, afin d'en tirer les traits caractéristiques, et de répartir tous les objets de la collection selon ces traits. Ce mode est celui de la contiguïté, relevant de l'aspect figural des collections. Ici, une analyse en composante principale calcule une nouvelle base dans l'espace des descripteurs, qui est généralisée à l'ensemble de la collection (cf. figure 2).

# CRÉATION SONORE NUMÉRIQUE ET COLLECTIONS : L'ORDINATEUR ARTISTE



Fig. 2. Répartition induite à partir du choix d'un échantillon de fragments.

A tout moment, l'utilisateur peut également choisir les échantillons qu'il souhaite distinguer, dans une écoute exploratoire, identifier parmi les paramètres renseignés ceux qui lui semblent le mieux expliquer son choix, avant de demander au système de mettre en œuvre une classification à partir de ces déterminations particulières.

## Synthèse concaténative à base de corpus avec le logiciel CataRT

La synthèse concaténative sur corpus s'appuie sur des collections de fichiers sonores, disposées dans un espace de manipulation et de parcours. Si nous reprenons notre distinction précédente, nous avons ici affaire à des collections non-figurales de sons, ordonnées selon des descripteurs audio : à chacun des échantillons est associé un point dans un espace bidimensionnel. La synthèse concaténative à base de corpus permet de jouer des « grains » sonores à partir d'un vaste ensemble de sons segmentés et analysés selon des descripteurs ; les échantillons sont choisis selon la proximité à une position cible dans l'espace des descripteurs. La figure 3 montre une copie d'écran de l'interface du logiciel CataRT (Concatenative Real-Time sound synthesis). Sur cet exemple, les sons sont ordonnés horizontalement selon leur centroïde spectral (c'est-à-dire le centre de masse d'un son, calculé comme barycentre des fréquences trouvées par une transformée de Fourier, pondérées par leurs amplitudes), et verticalement selon un descripteur de périodicité (évaluation de la périodicité du son) ; les couleurs des points sont données par un index dans l'ensemble des sons.

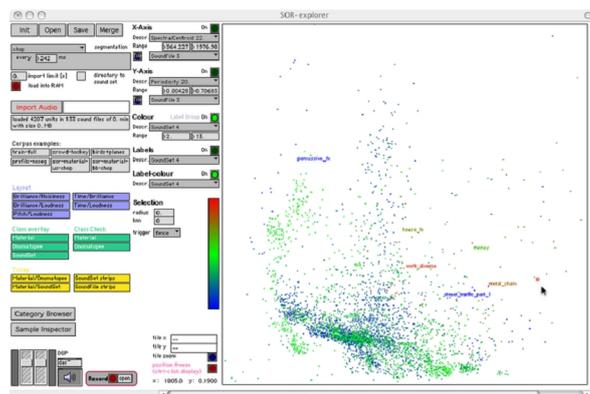


Fig. 3. Exemple de parcours de la réserve. Source : Diemo Schwarz.

Ce type de synthèse peut être considéré comme une extension de la synthèse granulaire [ROA 1988] qui fournirait un accès direct à un certain nombre de caractéristiques sonores. CataRT permet d'explorer de nouvelles pratiques de synthèse, telles que :

- le ré-arrangement : les unités sonores des corpus peuvent être ré-arrangées, en suivant d'autres règles que l'ordre temporel des enregistrements originaux, via le classement selon des descripteurs.
- l'interaction du musicien avec ses propres sons enregistrés : les sons, produits en live ou pré-enregistrés par un musicien, sont disponibles comme source d'interaction selon des procédés dépassant la simple répétition de notes ou de phrases, par exemple les boucles.
- la composition par navigation : en navigant à travers des bases de sons hétérogènes, l'utilisateur peut exploiter la richesse de détail des échantillons enregistrés tout en conservant un contrôle efficace du résultat, grâce à des descripteurs pertinents aux niveaux perceptuel et musical.
- la sélection croisée et l'interpolation : la cible sonore visée peut appartenir à un corpus différent de celui manipulé, permettant d'extraire et d'appliquer certaines caractéristiques sonores d'un corpus à un autre, ainsi que d'opérer des morphings entre des corpus distincts.
- l'orchestration à base de corpus : il s'agit d'insérer dans une composition des masses de sons nettement repérées et positionnées en termes de descripteurs.

## Bibliographie

BAU 1968 Baudrillard, J., (1968). Le système des objets. Paris : Tel, Gallimard.

## CRÉATION SONORE NUMÉRIQUE ET COL- LECTIONS : L'ORDINATEUR ARTISTE

- BEN 1989** Benjamin, W. (1989). Paris, capitale du XIXe siècle — le livre des passages. Paris : Le Cerf.
- [BLA 2010** Blair, A-M. (2010). Too much to know. Yale Univ. Press.
- [DEL 2003** Deleuze, G. (2003). Proust et les signes. Paris : Presses Universitaires de France.
- [GRA 1994** Granger, G-G., (1994). Formes, opérations, objets. Paris : Vrin.
- [PAC 2004** Pachet, F (2004). Les nouveaux enjeux de la réification. L'Objet, 10(4).
- [PED 2006** Pédaque, R. (2006). [http://rtp-doc.enssib.fr/rubrique.php3?id\\_rubrique=13](http://rtp-doc.enssib.fr/rubrique.php3?id_rubrique=13)
- [PER 1998** Perrot, J-F (1998). Objets, classes et héritage : définitions. In Langages et modèles à objets : état des recherches et perspectives, collection Didactique, INRIA.
- [PIA & INH 1980** Piaget, J. et Inhelder, B. (1980). La genèse des structures logiques élémentaires. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé, 1980.
- [POM 1987** Pomian, K. (1987). Collectionneurs, amateurs et curieux. Paris : Gallimard.
- [ROA 1988** Roads, C., "Introduction to granular synthesis," Computer Music Journal, vol. 12, no. 2, pp. 11 — 13, Summer 1988.
- [ROU 2005** Rousseaux, F (2005). La collection, un lieu privilégié pour penser ensemble singularité et synthèse. Revue Espaces Temps, <http://www.espacestemp.net/document1836.html>
- [ROU 2006** Rousseaux, F (2006). Singularités à l'œuvre. Sampzon : Delatour, Collection Eidétique.
- [WAJ 1999** Wajcman, G. (1999). Collection. Paris : Nous.

# Culture : acquérir des connaissances sur le patrimoine en parlant à l'ordinateur

Stefan du Château, Danielle Boulanger, Eunika Mercier-Laurent  
Equipe MODEME CR Magellan — IAE de Lyon, 6 Cours Albert Thomas — BP 8242, 69355 Lyon cedex 08  
[stefan.du-chateau@orange.fr](mailto:stefan.du-chateau@orange.fr), [db@univ-lyon3.fr](mailto:db@univ-lyon3.fr), [eunika@innovation3d.fr](mailto:eunika@innovation3d.fr)

**Keywords :** knowledge processing, voice interface, natural language processing, domain ontology, cultural heritage.

**Abstract :** This paper presents our hybrid system for cultural heritage management. It combines the techniques of signal and natural language processing and knowledge modelling to effectively help a researcher in cultural patrimony in collecting, recording and finding the relevant knowledge. The voice interface serves to describe the artefacts in a given historical place. This audio file is then "translated" into a text file and validated by an expert in the area. The next step is an automatic concept extraction and building specific ontologies for the future processing. After introducing the problem of on field information collecting and managing, we describe the specific work of a researcher in the field of cultural heritage and main difficulties. Furthermore we explain our choice of the architecture of this hybrid system, our experiments and the results. Finally we give some perspective on extending this system to the other domains.

## 1. Introduction

Le problème récurrent en ingénierie des connaissances est l'efficacité du recueil des informations et des connaissances auprès de sources reconnues comme fiables d'un point de vue scientifique. Ce peut être les experts humains, des corpus textuels ou des applications informatiques (bases de données) qui couvrent les connaissances d'un domaine. Différentes méthodes de recueil peuvent être utilisées, en fonction de la situation donnée, des traitements prévus et des résultats escomptés.

Le travail des chercheurs en patrimoine culturel consiste en partie à recueillir l'information sur le terrain, dans les villes et villages sous forme de fiches texte, photos, croquis, plans, vidéos. L'information réunie ainsi pour chaque œuvre sera approfondie, corrigée si le besoin se pré-

sente, par un travail d'archives, pour finalement être stockée dans une base de données. Ce mode de recueil d'information sur des fiches papiers ou directement sur des ordinateurs portables, est lourd et coûteux en temps. Les informations collectées sont nombreuses et hétérogènes et leur transformation en forme exploitable pour la recherche n'est pas automatique.

Le système, que nous proposons (du Château, 2011), utilise une interface vocale (Balaram, 1998), qui permet de réduire le temps de recueil et d'améliorer ainsi l'efficacité de collecte, car la description des œuvres étudiées est dictée et enregistrée sous forme d'un fichier audio. Il s'agit d'un système hybride, car il s'appuie sur des technologies du traitement du signal, de modélisation de connaissances et de traitement du langage naturel.

## 2. Architecture de système

L'architecture de notre système tient compte de plusieurs facteurs. Premièrement, elle doit permettre la mise en œuvre de trois étapes fonctionnelles : la collecte d'informations et de connaissances dans un contexte spécifique, l'extraction d'information et le peuplement semi-automatique d'une ontologie partielle de domaine, supervisé par un modèle conceptuel. D'autre part, elle doit respecter les contraintes imposées par l'existant : SDI (le système descriptif de l'inventaire) (Verdier, 1999), les lexiques, les thésaurus et le modèle conceptuel CIDOC-CRM (Doerr, et al, 2006.).

Le processus menant de la description vocale d'un objet au peuplement de l'ontologie, se compose de plusieurs étapes :

1. L'acquisition vocale de la description d'un artefact
2. La transcription de fichiers audio dans un fichier texte, en utilisant le logiciel Dragon<sup>6</sup> que nous avons

6. <http://www.nuance.fr/naturallyspeaking/>

# UTILISATION D'UNE INTERFACE VOCALE POUR L'ACQUISITION DES CONNAISSANCES

enrichi avec un vocabulaire spécifique du patrimoine culturel.

3. Afficher le texte de résultat pour permettre aux experts de corriger des erreurs éventuelles.
4. L'analyse linguistique et l'extraction d'information (Grishman, 1997), (Ibekwe-Sanjuan, 2007). Cette étape utilise le logiciel XIP (Xerox incrémental Parser) (Aït-Mokhtar, et al., 2002), que nous avons enrichi par des lexiques sémantiques et des règles grammaticales, spécifiques au domaine du patrimoine culturel.
5. Validation de l'information obtenue à l'étape précédente.
6. Peuplement de l'ontologie des objets décrits au cours de la première étape. Il s'agit de transfert des informations implicites contenues dans le SDI, vers la connaissance explicite, représenté par l'ontologie du domaine du patrimoine culturel.

L'architecture de notre système est représenté par la figure 1.

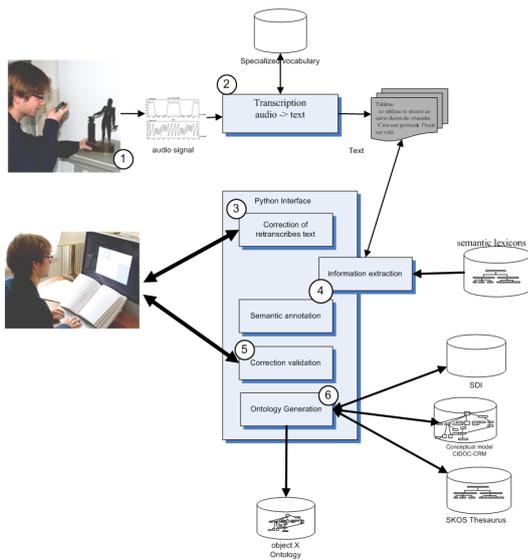


Fig. 1. Architecture de Simplificius

## 2.1 De la dictée vers le texte

Le fichier audio résultant de la dictée est “traduit” (cf étape 2, fig 1) en texte à l'aide du logiciel Dragon, que nous avons choisi pour sa robustesse et son taux de réussite à la reconnaissance de la parole.

Les fichiers texte issus de la retranscription serviront à effectuer une extraction de l'information de façon à ce que les renseignements dictés soient distribués dans des champs tels que : DENOMINATION, CATEGORIE, MATERIAUX, DESCRIPTION, INSCRIPTION (...), sans pour au-

tant obliger le locuteur à préciser le nom du champ descriptif. Les champs en question constituent le système descriptif défini par le département de l'inventaire du patrimoine (Verdier et al., 1999). Certains de ces champs sont obligatoires, d'autres optionnels. Le contenu de certains champs est défini par un lexique, le contenu d'autres champs restant libre.

Actuellement l'acquisition des données se fait au clavier et doit respecter une grille de saisie très structurée, l'utilisateur doit suivre le schéma proposé par le système. Dans le cas d'une acquisition vocale, il n'existera pas de structure qui pourra le guider.

Les personnes effectuant les recensements des œuvres d'art sont en général les spécialistes du domaine, on peut donc supposer que le texte dicté aura un minimum de cohérence et de structure. — les essais menés dans le cadre de ces travaux le prouvent.

## 2.2 Recherche et extraction d'information à partir de texte retranscrit

Pour analyser le texte retranscrit (cf étape 4, fig 1), nous utilisons l'analyseur syntaxique robuste XIP, qui garantit un résultat d'analyse de corpus, même si le texte est mal formé ou erroné, ce qui peut arriver dans le cas des textes issus d'une transcription orale vers le texte (Hagège et al., 2003).

La catégorie de l'information qui devra être localisée pour l'extraction est définie par le système descriptif de l'inventaire (Verdier et al., 1999). C'est lui qui indique non seulement le type d'information à rechercher, mais qui contrôle également, dans certains cas, le vocabulaire à utiliser. Les termes doivent correspondre à l'entrée d'un lexique.

Le système descriptif de l'inventaire devra donc guider en partie la conception des patrons d'extractions et des grammaires locales.

### 2.2.1 Les lexiques

Nous avons créé deux types de lexiques : d'une part celui contenant le vocabulaire défini comme autorisé pour remplir certains champs : DENO, REPR MATR (...), d'autre part nous avons créé des lexiques contenant des vocabulaires permettant d'analyser le contexte. Deux types de format sont utilisés. Pour les lexiques à grand vocabulaire, le terme de chaque lexique s'est vu associé sa forme infinitive pour les verbes et le masculin singulier pour les noms, de plus à chaque terme a été ajouté son trait sémantique et morphologique.

calice  
calice

## UTILISATION D'UNE INTERFACE VOCALE POUR L'ACQUISITION DES CONNAISSANCES

+Denomination+Masc+Sg+Common+Noun  
calices  
calice  
+Denomination+Masc+Pl+Common+Noun

Le format des lexiques de plus petite taille comprend la forme lemmatisée du terme avec le trait sémantique et morphologique qui lui est associé.

marque : noun += [!insc:].  
cachet : noun += [!insc:].  
sceau : noun += [!insc:].

### 2.2.2 Levée des ambiguïtés

Le repérage des mots ou syntagmes n'est pas la seule difficulté à laquelle doit faire face un système d'extraction d'information. Dans un contexte aussi riche qu'est la description d'un artefact du patrimoine culturel, devant la richesse de la langue employée et devant la multiplicité des sens qu'on peut donner à des descripteurs utilisés, un des problèmes majeur est la résolution des ambiguïtés sémantiques.

Un mot ou un syntagme peut être utilisé dans différents contextes aussi bien pour décrire la représentation d'une œuvre que désigner l'œuvre elle-même, par exemple un tableau représentant un calice, le nom d'une personne peut être celui d'un personnage représenté ou celui de l'artiste (...).

Il arrive fréquemment que les objets du patrimoine, dont on fait la description, font partie d'un ensemble. La description de ce type d'objet peut faire allusion aux éléments contenus ou contenant. On se trouve donc dans une situation où plusieurs noms d'œuvres sont cités. Comment savoir laquelle fait l'objet de l'étude ?

Dans la phrase : *Calice en argent doré, orné de grappes de raisins, d'épis de blé, de roseaux sur le pied et la fausse coupe, d'une croix et des instruments de la passion dans des médaillons, sur le pied.*

Les termes : **calice, croix, instruments, médaillons** existent dans le lexique DENOMINATION. Le terme calice existe également dans le lexique REPRESENTATION

Comment être sûr qu'il s'agit de DENOMINATION ?

Comment choisir le terme qui désigne la DENOMINATION ?

### Étude de la position initiale

L'étude de l'ordonnement des descripteurs dans un texte apporte une aide appréciable, notamment pour la résolution de certains types d'ambiguïtés. L'étude de la position initiale, qui s'appuie sur des considérations cognitives

(Enkvist 1976), (Ho-Dac 2007), accorde une importance accrue aux débuts de phrases : on y place en position initiale une information donnée ou une information plus importante.

Dans cette perspective, l'extraction de l'information à partir du texte : *Calice en argent doré, orné de grappes de raisins, d'épis de blé, de roseaux sur le pied et la fausse coupe, d'une croix et des instruments de la passion dans des médaillons, sur le pied.*

favorisera le descripteur **Calice** par rapport aux autres descripteurs cités ci dessus, pour désigner la dénomination de l'objet étudié.

### Contexte local

La résolution des ambiguïtés nécessite l'analyse et la compréhension du contexte local. L'analyse morphosyntaxique des mots qui entourent le mot dont on cherche à identifier le sens, la recherche des indices linguistiques définis en fonction d'une thématique, peuvent résoudre certaines ambiguïtés.

Dans la phrase : *C'est une peinture à l'huile de très grande qualité, panneau sur bois représentant deux figures à mi corps sur fond de paysage, Saint Guilhem et Sainte Apolline, peintures enchâssées sous des architectures à décor polylobés ; Saint Guilhem est représenté en abbé bénédictin (alors qu'à sa mort en 812 il n'était que simple moine) ; Sainte Apolline tient l'instrument de son martyr, une longue tenaille.*

Saint Guilhem : peut désigner un lieu ou, une personne.

S'agit-il d'un tableau qui se trouve à Saint Guilhem, ou s'agit-il d'une représentation de Saint Guilhem et Sainte Apolline ?

Une étude de la position et de la classe sémantique des arguments dans la relation : sujet-verbe-objet, apporte des indices pour la résolution de cette ambiguïté, selon le principe que le sujet constitue le thème de la phrase, ce dont on parle alors que le verbe le propos de la phrase, ce que l'on dit du thème.

Dans l'exemple cité plus haut le verbe **représentant** porte le trait [Repr :+], qui l'associe à la classe représentation, en l'absence d'autres indices significatifs on peut donc en déduire que le propos de la phrase est la "représentation" et que Saint Guilhem et Sainte Apolline ne désignent pas des lieux mais plutôt la représentation.

### 2.3 Peuplement semi-automatique d'ontologie du domaine

La connaissance recueillie sur l'œuvre est forcément partielle : elle n'est valable que pour un laps de temps et ne peut donc pas être limitée à une grille descriptive figée

# UTILISATION D'UNE INTERFACE VOCALE POUR L'ACQUISITION DES CONNAISSANCES

par un cahier des charges réalisé pour un type d'application donnée.

Dans le cadre qui nous intéresse ici, les objets du patrimoine culturel, on parlera de la manière dont un objet a été fabriqué, par qui, quand, dans quel but, des transformations et des déplacements qu'il a subit, de son état de conservation et des matériaux utilisés. On peut constater qu'un certain nombre de concepts se dessine comme : Temps, Lieu, Acteur (Personne), Etat de conservation. Intuitivement, on devine que certains de ces concepts peuvent être liés les uns aux autres, comme état de conservation et temps, transformations et temps, déplacements et lieu, transformation et personne.

L'ontologie CIDOC-CRM, déjà citée, présente le formalisme nécessaire permettant de rendre compte des relations que l'œuvre peut avoir avec le temps et l'espace. Le cœur même de CRM est constitué de l'entité temporelle exprimant la dépendance entre le temps et les différents événements dans la vie de l'œuvre.

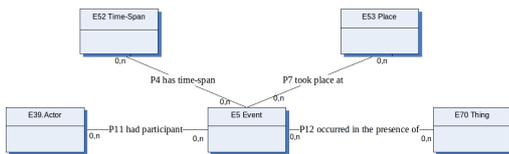


Fig. 2. Modélisation d'événement dans CIDOC-CRM, d'après (Crofts, 2007)

Par souci de clarté et de meilleure lecture par l'utilisateur habitué à la nomenclature de SDI, nous avons créé à partir du CIDOC-CRM un modèle définissant les équivalences entre les différents champs du SDI et certaines classes de CIDOC-CRM. (figure 3).

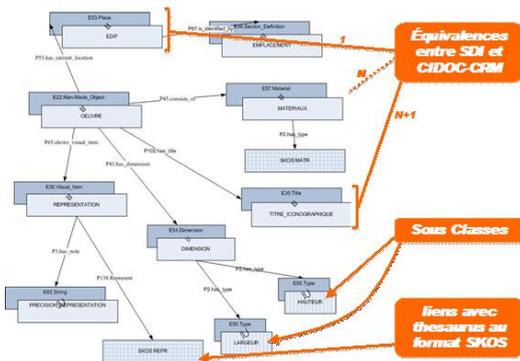


Fig. 3. Détails de l'adaptation de modèle CIDOC-CRM, (équivalences avec le modèle SDI et les relations avec thésaurus SKOS)

Le passage de modèles définis par le système descriptif de l'inventaire vers l'ontologie CIDOC-CRM se fera grâce à la recherche des correspondances entre les champs du système descriptif de l'inventaire, dont le contenu peut être

considéré comme l'instance d'une des classes de l'ontologie CRM.

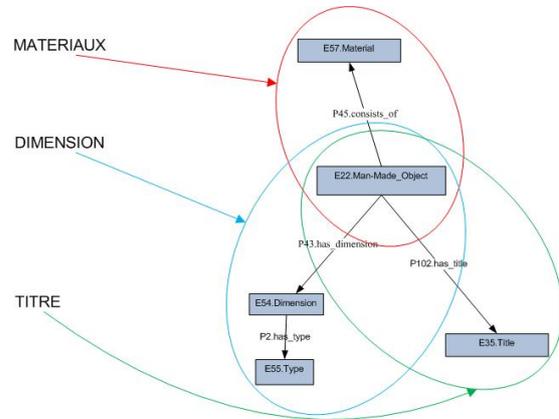


Fig. 4. Exemple de correspondances entre les champs du SDI et CIDOC-CRM

Pour les cas où cette correspondance ne pourrait pas être assurée, parce que l'information n'existe pas dans le système descriptif de l'inventaire, il faudra l'extraire du texte retranscrit, à condition que le locuteur ait pris le soin de la dicter, sinon il faudra la saisir au moment de la validation de l'information extraite automatiquement par le système.

## 3. Expérimentations et résultats

Les expérimentations, que nous avons effectuées, se basent sur un prototype et sont encore peu nombreuses. Pour présenter un véritable retour d'expériences et avoir des résultats pouvant nourrir des statistiques plus fiables, il faudrait mettre notre application en exploitation. Néanmoins, les résultats obtenus sont suffisamment prometteurs pour nous inciter à continuer les développements en vue de mettre précisément notre système en utilisation courante.

Les principales sources d'erreurs se situent au niveau de la transcription de la description vocale de l'œuvre vers le texte et au niveau de l'extraction d'information à partir de textes retranscrits. Chacune de ces étapes nécessite la vérification et d'éventuelles corrections par des chercheurs, avant le lancement de peuplement d'une ontologie partielle au format OWL-DL, conforme au modèle conceptuel CIDOC-CRM.

Pour les extractions d'informations à partir de l'ensemble des textes descriptifs de chaque chercheur, nous avons calculé la Précision, Le Rappel et le F-score, selon les formules :

$$Precision = \frac{\text{nombre de réponses correctes}}{\text{nombre de réponses trouvées par système}}$$

# UTILISATION D'UNE INTERFACE VOCALE POUR L'ACQUISITION DES CONNAISSANCES

$$\text{Rappel} = \frac{\text{nombre de réponses correctes}}{\text{nombre total de réponses attendues}}$$

$$F\text{-score} = \frac{\text{Precision} \times \text{Rappel}}{\text{Precision} + \text{Rappel}}$$

Les résultats des calculs sont inscrits dans le tableau ci-dessous. Pour faciliter la présentation nous avons attribué une lettre pour désigner chaque locuteur : **A** pour la femme avec accent, **B** pour la femme sans accent et la lettre **C** pour l'homme.

Chercheur	Precision	Rappel	F-score
A	0,91	1	0,952
B	0,873	0,964	0,916
C	0,921	0,979	0,949

Tableau 1. Résultats d'extraction d'informations

Voici ci-dessous, l'exemple de la description d'un tableau, réalisé par un chercheur du patrimoine. Le premier texte donne le résultat issu de la transcription orale. On peut constater l'existence des erreurs mises en évidence par un marquage en caractères gras. Le deuxième, c'est le texte après la correction. C'est à partir de ce fichier que sont faits l'analyse linguistique, l'extraction d'information et le peuplement d'ontologie, schématisés par la figure 5.

*Et le **Damiani** église Saint-Sauveur. Tableau représentant saint Benoît d'Aniane et saint Benoît de Nursie offrant à Dieu le Père la nouvelle église abbatiale d'Aniane. Ce tableau est situé dans le coeur et placé à 3,50 m du sol. C'est une peinture à l'huile sur toile encadrée **et 24 en bois Doré. Ça auteure** et de 420 cm sa largeur de 250 cm. Est un tableau du XVIIe siècle. Il est signé en bas à droite **droite** de Antoine Ranc. Est un tableau en mauvais l'état de conservation un réseau de craquelures s'étend sur l'ensemble de la couche picturale.*

Ville d'**COM**(Aniane) **EDIF**(église Saint-Sauveur). **PREPR**(DENO(Tableau) représentant **REPR**( saint Benoît d'Aniane) et **REPR**( saint Benoît de Nursie) offrant à **REPR**(Dieu le Père) la nouvelle église abbatiale d'Aniane). Ce tableau est situé **EMPL**( dans le coeur et placé à 3,50 m du sol). C'est une peinture à **MATR**( l'huile sur toile) encadrée d'un cadre en **MATR**(bois doré). Sa **DIMS**(hauteur est de 420) cm sa **DIMS**( largeur de 250 cm). Est un tableau du **SCLE**(XVIIe siècle). Il est signé en bas à droite de **AUTR**(Antoine Ranc). **PETAT**( Est un tableau en mauvais état de conservation un réseau de craquelures s'étend sur l'ensemble de la couche picturale).

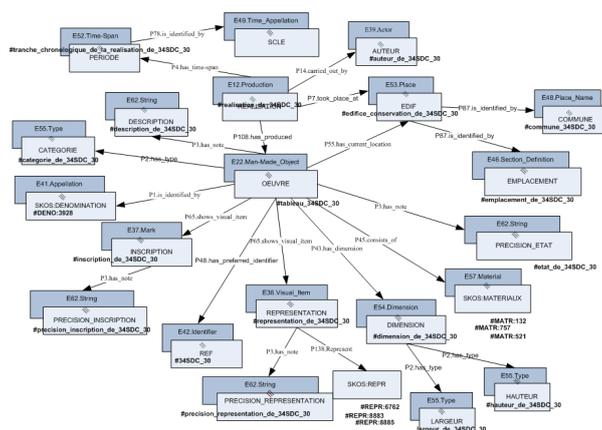


Fig. 5. Exemple de l'ontologie d'une œuvre issue d'une description dictée.

## 4. Conclusion

L'originalité de notre système vocal d'aide à l'acquisition des connaissances relatives au patrimoine culturel se situe au niveau du lien qu'il établit entre deux domaines de recherche, qui suivaient leur développement en parallèle -le traitement du signal et le traitement automatique de langue. Nos expérimentations donnent de bons résultats du point de vue technique et confirment l'utilité de ce type d'applications.

La modélisation de la connaissance sous forme d'ontologie et les coopérations ontologiques permettront d'apporter souplesse et extensibilité à notre système, par exemple d'étendre les possibilités du modèle CIDOC-CRM à modéliser les connaissances spatio-temporelles, par l'ajout d'informations géospatiales, comme la topologie, directions, distances, pouvant situer un objet par rapport à des points de référence. Les récents travaux du LIG (Laboratoire d'informatique de Grenoble) et notamment le modèle ONTOAST (Alina Dia Miron et al., 2007) nous paraissent très intéressants à cet égard.

Dans le futur, il pourrait être judicieux d'incorporer un contrôle de l'acquisition vocale, sous forme d'un dialogue homme machine. Ainsi le locuteur aurait un retour en temps réel sur la compréhension par la machine de ce qu'il dicte. Cela implique dans notre cas la possibilité d'implémenter le système de transcription et d'extraction d'information sur un poste mobile.

Le format OWL pour la création d'ontologie que nous utilisons assure la compatibilité avec les normes du web sémantique et facilite l'intégration dans des systèmes d'inférence et d'interrogation, facilitant ainsi les exploitations possibles dans des applications de type scientifique ou de vulgarisation, comme l'interrogation, les comparaisons

## UTILISATION D'UNE INTERFACE VOCALE POUR L'ACQUISITION DES CONNAISSANCES

d'œuvres ou l'échange de connaissances avec d'autres structures de type ontologique.

### Références

Aït-Mokhtar Salah, Jean-Pierre Chanod, and Claude Roux.. Robustness beyond shallowness : incremental deep parsing. *Natural Language Engineering*, vol. (8/2-3), 2002. 121-144.

Balaram M (1998), PC Version of a Knowledge-Based Expert System with Voice Interface. IEA/AIE (Vol. 2) 1988 : 1168-1173.

Crofts N. (2007), La norme récente ISO 21127 : une ontologie de référence pour l'échange d'informations de patrimoine culturel, Systèmes d'informations et synergies entre musées, archives, bibliothèques universités, radios et télévisions, Lausanne — 2007.

Doerr M, Crofts N, Gill T, Stead S, Stiff M (editors) (2006), Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model, October 2006.

du Château S, (2011), SIMPLICIUS, Système d'aide au management des connaissances pour le patrimoine culturel, Thèse en Informatique, Université Lyon3.

Enkvist N.E, (1976), Notes on valency, semantic scope, and thematic perspective as parameters of adverbial placement in English". In : Enkvist, Nils E./Kohonen, Viljo (eds.) (1976) : Reports on Text Linguistics : Approaches to Word Order.

Grishman, Ralph. Information Extraction : techniques and challenges. Information Extraction (MT Paziienza ed.), Springer Verlag (Lecture Notes in computer Science), Heidelberg, Germany, 1997.

Hagège C, Roux C (2003), Entre syntaxe et sémantique : Normalisation de la sortie de l'analyse syntaxique en vue de l'amélioration de l'extraction d'information à partir de textes, TALN 2003, Batz-sur-Mer, 11 — 14 juin 2003

Ho-Dac L (2007), La position Initiale dans l'organisation du discours : une exploration en corpus. Thèse de doctorat, Université Toulouse le Mirail.

Ibekwe-SanJuan E,(2007) Fouille de textes : méthodes, outils et applications, Hermès-Lavoisier, Paris-London, 2007, 352p.2007..

Miron A., Gensel J., Villanova-Oliver M., Martin H., "Relations spatiales qualitatives en ONTOAST pour le Web sémantique géospatial", Colloque International de Géomatique et d'Analyse Spatiale (SAGEO2007), Clermont-Ferrand, France, 18-20 June 2007

Verdier H. (1999),- Système descriptif des objets mobiliers. Paris, 1999.- Editions du Patrimoine.

# L'ordinateur comprend le langage humain : de nouvelles voies s'ouvrent à lui

Frédérique Segond  
Xerox Research Centre Europe  
[segond@xrce.xerox.com](mailto:segond@xrce.xerox.com)  
6 chemin de Maupertuis  
38240 Meylan, France

Le traitement automatique des langues ou la linguistique informatique : d'aucun s'interrogent encore sur ce qu'est l'objet de cette discipline. Mais ca consiste en quoi la linguistique informatique? Longtemps j'ai répondu en disant que cela consistait à écrire des programmes qui permettraient de traduire des livres d'une langue à l'autre. Aujourd'hui, grâce au développement d'Internet et de la toile on peut ajouter : le traitement automatique des langues permet d'améliorer les performances des moteurs de recherche. Grâce à la diffusion de technologies comme celles des téléphones portables on commence à parler de commandes vocales, de dictées automatiques. Mais on fait ça comment? Vaste programme! On regarde les documents, les phrases les mots. On les observe dans tous leurs états, écrits, parlés, multilingues, multi-sens. On regarde comment les mots se comportent, seuls, en groupe, comment ils s'accouplent, comment ils naissent, comment ils disparaissent. Dans la suite de ce court article, je tenterai d'expliquer les différentes étapes du traitement automatique des langues et des différentes approches actuelles et je terminerai en dressant un rapide panorama de différents domaines d'application. Je me concentre ici sur mon domaine de spécialité, les documents écrits.

## Les difficultés et les différentes étapes du traitement des textes écrits

La première tâche que l'ordinateur doit effectuer face à un texte en format électronique est de couper le texte en paragraphes, les paragraphes en phrases et les phrases en mots. Pour le découpage des phrases en mots il faut parvenir à définir ce qu'est un mot et ce n'est pas nécessairement une unité entre deux blancs comme le montrent les exemples suivants : Aujourd'hui, \$22.50, porte-avion, à priori, New York. Les modules qui découpent les phrases en

mots ou plutôt en unités de sens sont appelés segmenteurs (tokenisers en anglais)

Une fois le texte découpé en paragraphes, les paragraphes en phrases et les phrases en mots, l'ordinateur va devoir associer chaque mot avec des informations qui lui sont propres et qui le caractérisent, comme sa catégorie grammaticale ou partie du discours (est-ce un nom, un verbe, un adjectif, etc. ), son genre, son nombre s'il s'agit d'un nom, d'un pronom, d'un adjectif ou d'un article, sa personne, son mode et son temps s'il s'agit d'un verbe. Les modules qui affectent des étiquettes de ce type à chacun des mots sont appelés analyseurs morpho-syntaxiques, ils comprennent généralement également une phase de lemmatisation qui consiste à fournir en sortie la forme canonique d'un mot, celle que l'on va trouver dans un dictionnaire. Le mot « brise » sera analysé en : brise nom féminin singulier et en briser verbe 1ere personne du singulier de l'indicatif présent. On voit donc qu'un mot donné peut être associé à différentes étiquettes ; or les mots de la langue apparaissent dans un contexte, et c'est ce contexte qui va permettre de savoir quelle est leur catégorie grammaticale et même leur sens. Ainsi si l'on reprend le mot « brise » lorsqu'il apparaît dans la phrase Une petite brise souffle sur l'océan, seule l'interprétation nominale sera retenue. Les modules qui s'appuient sur le contexte d'apparition des mots pour ne choisir qu'une seule étiquette morpho-syntaxique sont appelés étiqueteurs syntaxiques (ou taggers en anglais). Il est à noter que dans certains cas on ne peut choisir une interprétation en restant au niveau de la phrase. Ainsi si l'on considère la phrase "La petite brise la glace", c'est uniquement une étude des autres phrases du document qui nous permettra de choisir entre l'interprétation « bris de glace », et l'interprétation "petit vent froid". Une fois cette étape franchie, on va vouloir regrouper les mots entre eux en syntagmes, sorte d'unités de sens de niveau supérieur et pouvoir dire que dans l'exemple précédent (interprétation « bris de glace ») la petite et la glace

## L'ORDINATEUR COMPREND LE LANGAGE HUMAIN : DE NOUVELLES VOIES S'OUVRENT À LUI

sont des groupes nominaux, et brise est un groupe verbal. Les modules qui effectuent ce type d'opération sont appelés chunkers. Une fois ces groupes de mots repérés, on va vouloir établir des liens entre eux, et nommer ces liens. C'est la tâche des analyseurs syntaxiques qui vont établir des relations de dépendances de types sujet, objet, modifieur etc. entre les différents groupes de mots identifiés par le chunker. Ainsi dans la phrase précédente la petite est le sujet du verbe briser et la glace l'objet direct. Tous les traitements que nous venons de décrire agissent au niveau de la grammaire, de la forme des textes mais le même type de problème se retrouve au niveau du sens. Par exemple une fois les mots et les groupes de mots identifiés on veut pouvoir être en mesure d'associer, dans l'absolu et en contexte un ou plusieurs sens, une ou plusieurs étiquettes sémantiques aux différentes unités morpho-syntaxiques. Ainsi cadre pourra désigner une personne ou un objet. Seul le contexte nous permettra de trancher. Les modules qui choisissent parmi les différents sens possibles d'un mot dans un contexte donné sont les étiqueteurs sémantiques.

Il est aussi important de pouvoir différencier entre les différents nom propres pour être en mesure de dire que New York est une ville ou un état, Jean de la Fontaine, une personne, La guerre de quatorze un événement. Les modules qui font cette tâche s'appellent des modules de reconnaissance d'entités nommées et sont utilisés dans de nombreux systèmes d'extraction d'information. Même les étiquettes portant sur les dépendances syntaxiques peuvent être associées à un sens. Ainsi dans les trois phrases suivantes Anne est en position sujet : Anne prend un verre de vin,

Anne prend un coup sur la tête,

Anne prend un mari

Pourtant dans un cas elle fait l'action donc c'est une relation de type acteur, dans l'autre cas elle subit, c'est donc une relation d'expérienceur et dans le dernier cas on peut l'espérer, c'est une relation de type bénéficiaire.

Nous n'avons pas ici assez de place pour présenter tous les modules du TAL, citons simplement pour terminer les modules de co-référence qui permettent de repérer dans un document toutes les formes qui réfèrent, par exemple, à une personne donnée comme c'est le cas pour Louis XIV, le Roi de France, il, et Son Excellence

### Les différentes approches pour le TAL

Différentes approches sont utilisées pour analyser les langues naturelles, on distinguera essentiellement trois courants : les statistiques et l'apprentissage automatique, les approches symboliques et les approches hybrides.

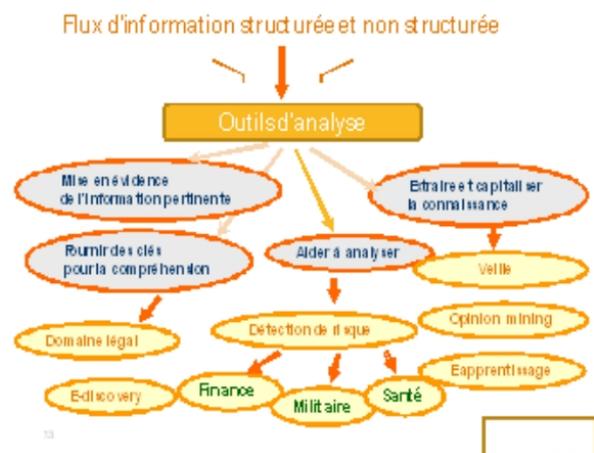
Les statistiques et les méthodes d'apprentissage observent les mots, les groupes de mots, les relations entre ces mots, comptent leurs occurrences et produisent des algorithmes permettant de faire des prédictions pour analyser toute nouvelle phrase.

Les approches symboliques, proches des systèmes experts, modélisent une connaissance de la langue et produisent un certain nombre de règles qui permettent d'analyser toute nouvelle phrase.

Les méthodes hybrides font le pont entre les deux et utilisent aussi bien des approches symboliques que des approches statistiques.

### A quoi ca sert ?

Dans notre ère électronique, les outils de traitement du langage naturel se révèlent incontournables pour une multitude d'applications. Cela va du moteur de recherche de base qui a besoin, pour ne pas rater d'informations, de repérer toutes les formes morphologiques des mots présents dans les requêtes des internautes, qui ont besoin d'une bonne indexation des documents, à des systèmes d'aide à la décision qui vont avoir besoin d'extraire, de stocker et de raisonner sur de l'information. Le schéma suivant est une illustration de quelques exemples d'applications et de services que peuvent offrir les outils de TAL.



Afin de mieux illustrer ce schéma et les applications du TAL terminons cet article par quelques exemples d'applications concrets : l'analyse d'opinions et l'analyse des textes dans le domaine médical et dans le domaine légal.

L'analyse d'opinion consiste à utiliser des outils de TAL pour analyser les opinions exprimées dans différents sortes de forums ou de blogs ; ce peut être des forums spécialisés autour d'un thème donné (par exemple des forums de jeux, de voitures, de consommateurs en général), des blogs

## L'ORDINATEUR COMPREND LE LANGAGE HUMAIN : DE NOUVELLES VOIES S'OUVRENT À LUI

de journaux ou de personnalités politiques ou même, pourquoi pas, des pages de Facebook ou des Tweets de Twitter.

Etre capable d'analyser les opinions des internautes à propos, par exemple, d'un produit, d'un événement politique, d'une nouvelle loi ou d'un candidat est très important pour les entreprises. Par exemple, les éditeurs de jeux vidéo veulent savoir ce qui plaît et ne plaît pas dans un jeu afin de pouvoir réagir rapidement via le marketing. Les mêmes éditeurs de jeux vidéo veulent savoir ce qui fonctionne et ne fonctionne pas techniquement et faire un retour à leur service technique. Ce qui s'applique aux jeux vidéo s'applique aux voitures, aux imprimantes et aux yaourts.

Les outils de TAL vont permettre d'analyser le contenu textuel des messages des internautes en repérant par exemple les parties positives et négatives du discours, en les associant avec un produit ou avec certaines de ces caractéristiques. Il est important d'insister sur le fait que la tâche ne consiste pas uniquement à repérer deux types de mots positifs d'un côté et négatif de l'autre, cette notion étant complètement dépendante du contexte. Si l'on ne considère que le mot bon, il sera positif dans bon rendement, négatif dans une bonne blague, et neutre dans bon week end, étant donné que dans ce type de corpus c'est une expression qui apparaît souvent et qui n'est pas liée à la chose dont il est question. D'autres difficultés viennent du fait qu'un internaute peut dire du bien d'un produit en général et pourtant insister sur un défaut d'une de ses caractéristiques (ce nouveau modèle de voiture est très bien. Pourtant les sièges de couleur beige sont laids et peu confortables) ou encore que souvent les internautes vont parler d'un produit en comparaison avec un autre. Dans ce dernier cas il n'est pas rare de voir des revues négatives contenant beaucoup de mots positifs, sauf que ces mots positifs sont associés au produit qui sert de comparaison.

Dans un tout autre domaine, celui de la médecine, les outils de TAL commencent à jouer un rôle primordial. En effet, à l'heure du dossier patient électronique et de la numérisation des archives médicales, on comprend l'importance que vont avoir de tels outils d'analyse. On citera par exemple la possibilité de détecter les effets secondaires des médicaments et d'aider ainsi la pharmacovigilance, ou bien la possibilité de détecter des liens entre les maladies, afin d'en établir une cartographie et de faire progresser les études épidémiologiques. Le projet ALADIN s'intéresse à détecter dans les comptes rendus d'hospitalisation les suspicions d'infections nosocomiales. Pour cela les outils d'analyse de textes repèrent, dans la partie texte libre de ces comptes rendus, des symptômes, des traitements, des expressions temporelles et la façon dont ils sont liés, un peu comme le feraient des règles de systèmes expert. On comprend bien que là encore un simple repérage de mots clés ou de patrons ne suffit pas. Par exemple, le fait d'avoir

une fièvre associée à tel symptôme un jour après être entré à l'hôpital n'a pas la même signification que d'avoir de la fièvre trois jours plus tard. Ce sont les liens entre les événements médicaux qui font sens et qu'il est important de capturer.

On terminera par l'exemple du domaine légal pour lequel les outils de TAL peuvent se révéler d'une grande aide. Que l'on pense seulement au nombre de documents de toutes sortes que doit rassembler un avocat pour être en mesure de donner un conseil ou de construire la défense de son client. Le projet TANGUY s'attache à construire une suite d'outils d'analyse linguistique, de représentation des connaissances et de visualisation dans le but d'aider les avocats à donner des conseils à leur clients dans le cadre des affaires de contrefaçon. Les outils de TAL extraient de l'information de différentes sortes (ex. décisions de justice antérieures pour des cas similaires, textes de lois utilisés etc.), cette information est ensuite stockée dans une base de connaissance qui va permettre à l'avocat de raisonner grâce également à une interface de navigation. Ce dernier cas démontre aussi que la combinaison du TAL avec la représentation des connaissances, les raisonneurs et les outils de visualisation ouvre la voie à de nombreuses applications de type « intelligence artificielle ».

### Pour en savoir plus

- Noam Chomsky. *Syntactic Structures*. Mouton, 1957.
- Robert Dale, Hermann Moisl, and Harold Somers, editors (2001), *Handbook of Natural Language Processing, Computational Linguistics*, December 2001, Vol. 27, No. 4
- Daniel Jurafsky and James H. Martin (2000), *Speech and Language Processing : An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition*, Prentice Hall series in artificial intelligence, edited by Stuart Russell and Peter Norvig, 2000.
- Christopher D. Manning and Hinrich Schütze (1999) *Foundations of Statistical Natural Language Processing*, Cambridge, MA : The MIT Press, 1999.
- Frédérique Segond, éditeur (2002) *Multilinguisme et traitement de l'information (Traité des sciences et techniques de l'information)*, Hermès 2002
- Marina Yaguello (1981) : *Alice au pays du langage Pour comprendre la linguistique*, Seuil (1981)
- ALADIN (Assistant de Lutte Automatisé et de Détection des Infections Nosocomiales à partir de Documents Textuels Hospitaliers ) (<http://www.aladin-project.eu/>) projet ANR CONTINT 2008.
- TANGUY (Des Textes aux Arguments par Navigation Graphique de l'Utilisateur en Interaction) projet ANR TecSan 2008

# L'ordinateur sait lire : analyse intelligente de documents et découverte de connaissances

Pascal CUXAC (INIST-CNRS) et Jean-Charles LAMIREL (TALARIS-LORIA) pascal.cuxac@inist.fr ; jean.charles.lamirel@loria.fr

## Introduction

Avec l'augmentation croissante de documents nécessaires aux entreprises ou aux administrations, ainsi que la profusion de données disponibles via Internet, les méthodes automatiques de fouilles de données (*text mining*, *data mining*) sont devenues incontournables. Elles font appel à des disciplines comme la linguistique, l'analyse de données (statistiques, classifications...), l'intelligence artificielle (méthodes d'apprentissage), l'analyse de graphes (réseaux sociaux), la visualisation (cartographie de l'information, navigation...).

Les domaines d'application très nombreux ne peuvent tous être cités ici, les exemples suivants sont donnés afin que le lecteur ait une idée de leur étendue :

- Marketing : partitionner des populations de consommateurs en segments de marché, aider au positionnement d'un nouveau produit, analyser les modes de consommation...
- Moteurs de recherche sur Internet : donner les meilleures réponses à une requête, hiérarchiser les réponses, tenir compte du profil de l'utilisateur...
- Veille stratégique : analyser les stratégies des entreprises à partir de données publiques (Internet, presse, rapports...), connaître la e-réputation des entreprises...
- Veille scientifique et technique : détecter les thèmes de recherches, leurs évolutions, leurs structurations, à partir des publications scientifiques des chercheurs...
- Sécurité publique : lutte contre le terrorisme, identifier des corrélations entre des événements, des lieux...
- Sécurité informatique : détecter des spams, détecter des intrusions...
- Analyse de documents : résumé automatique de documents, classification automatique de textes (dépêches d'agence de presse, formulaires d'administrations ou d'entreprises...), construction d'ontologies...
- Réseau sociaux : détection de communautés...

La recherche en Intelligence Artificielle appliquée aux traitements de données textuelles (document papier, docu-

ment électronique, Internet...) est en pleine expansion, permettant de déboucher sur une véritable ingénierie de la connaissance.

Si on prend le cas bien connu des moteurs de recherche, ils se contentent encore pour la plupart, d'établir une concordance entre les mots d'une requête et les mots contenus dans les index de ces moteurs. Cela peut donner de bons résultats mais cela demande d'élaborer des équations de recherche complexe difficiles à construire pour le grand public (88% des requêtes ont au plus 3 mots!). De plus, les modèles économiques de ces grands moteurs leur font proposer des réponses "sponsorisées". Les travaux de recherches commencent à donner des résultats : puisque les données sur Internet sont encore sous des formats "pauvres", on assiste à la naissance de moteurs de recherche sémantiques qui permettent de répondre à une question saisie en langage naturel (figure 1).

The image shows a screenshot of the WolframAlpha search engine interface. At the top, the WolframAlpha logo is displayed with the tagline 'computational knowledge engine'. Below the logo, the search query 'who was french prime minister in 1990' is entered into a search bar. The results section shows the input interpretation as 'France Prime Minister 09/02/1990'. The result is 'Michel Rocard'. Below this, a 'Basic information' table is provided:

Basic information:	
official position	Prime Minister
country	France
start date	10/05/1988 (22 years 8 months 30 days ago)
end date	15/05/1991 (19 years 8 months 25 days ago)

Fig. 1 : Une interrogation en langage naturel sur le moteur de recherche sémantique Wolfram (<http://www.wolframalpha.com>)

# L'ORDINATEUR SAIT LIRE : ANALYSE INTELLIGENTE DE DOCUMENTS ET DÉCOUVERTE DE CONNAISSANCES

Récemment le Loria<sup>7</sup> a mis en ligne un logiciel pour trouver de façon intelligente des recettes de cuisine : "Taaable" (<http://intoweb.loria.fr/taaaable3ccc/>). Il s'agit d'un système d'accès à des recettes de cuisine qui permet de les adapter suivant les ingrédients à disposition de l'utilisateur.

Il existe également des applications qui aident les chercheurs ou les spécialistes en veille scientifique à déterminer les thématiques de recherche afin de faire un état de l'art, orienter de nouvelles recherches ou faire des transferts de technologies (figure 2)

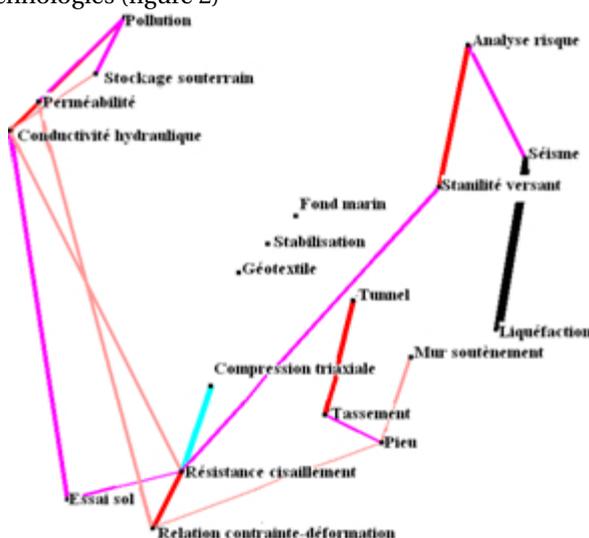


Fig. 2 : Une cartographie après une phase de clustering d'un corpus scientifique en géotechnique (<http://stanalyst.inist.fr>)

## Le traitement automatique de la langue

Les méthodes de traitement automatique des langues (TAL) s'appuient sur des méthodes d'ingénierie linguistique (linguistique, informatique, intelligence artificielle) pour analyser automatiquement des textes et produire par exemple des résumés, des traductions, des ontologies, des représentations vectorielles des données (indexation)...

Pour analyser un document on peut schématiquement faire intervenir quatre phases (figure 3) :

- La segmentation : il s'agit de découper le texte initial en unités de bases qui peuvent être le mot. Cette étape est suivie de la lemmatisation qui détermine la forme canonique des mots (lisait - lire)
- L'étiquetage : à chaque unité de base (mot) va être attribué une étiquette de catégorie morphosyntaxique.

7. Laboratoire lorrain de recherche en informatique et ses applications

Cela peut se faire soit par méthodes à base de règles, soit pas méthodes probabilistes

- L'analyse syntaxique : s'intéresse à la structure des phrases.
- L'analyse sémantique : cette étape va donner un sens aux phrases à l'aide des informations obtenues aux étapes précédentes.

```
«°Pascal·a·lu·ce·livre·°»¶
u1=Pascal,u2=a·lu,u3=ce,u4=livre¶
¶
u1=Pascal:¶
Informations·morphosyntaxiques: nom·propre·
masculin·singulier¶
Informations·sémantiques: prénom...¶
¶
u2=a·lu:¶
Forme·lemmatisée: lire¶
Informations·morpho-syntaxiques: verbe·passé
composé·indicatif...¶
```

Fig. 3 : Exemple de traitement TAL simple.

## Les méthodes de classification

Les méthodes de classification peuvent bien entendu être utilisées pour classer des documents : on pense par exemple aux dépêches d'actualité qui doivent être classés par domaines (culture, politique, sport...) ou aux bases de données bibliographiques qui classent des documents dans un plan de classement déterminé (figure 4).



Fig. 4 : Plan de classement documentaire de la base PASCAL (<http://refcode.inist.fr>)

Mais les méthodes de classification au sens large sont utilisées pour beaucoup d'autres applications (Turenne 2001) : détections de nouveauté, mise en évidence de thèmes de recherches et de leur évolution temporelle, détection de groupes (groupes de mots, d'individus, d'objets...), détection d'anomalies...

Deux grandes familles de méthodes existent :

## L'ORDINATEUR SAIT LIRE : ANALYSE INTELLIGENTE DE DOCUMENTS ET DÉCOUVERTE DE CONNAISSANCES

- La classification supervisée : connaissant préalablement les classes (plan de classement documentaire, types de documents, annuaires par catégories...)
- La classification non supervisée (clustering) : on ne fait aucun a priori sur le nombre de classes que l'on peut trouver.

D1	voiture	rouge	rapide	rapide	//	
D2	camion	bleu	diesel	diesel	diesel	rapide
	Camion	Voiture	Rouge	Bleu	Rapide	diesel
D1	0/0	1/1	1/1	0/0	1/2	0/0
D2	1/1	0/0	0/0	1/1	1/1	1/3

**Fig. 5 : Représentation vectorielle booléenne / pondérée des deux documents D1 et D2.**

Toutes ces techniques de classification opèrent sur une représentation du document. Le plus souvent on utilise une représentation vectorielle des textes qui peut être pondérée (par exemple par la fréquence des mots) ou booléenne (0=absence du mot, 1= présence du mot). Un document est alors représenté par un vecteur dont la dimension correspond à la taille du vocabulaire représentant tous les documents étudiés (figure 5).

### La classification supervisée

Parmi les nombreuses méthodes de classification supervisée on citera Les K-plus proches voisins (K-ppv), les classifieurs bayésiens, les arbres de décision, les méthodes SVM... (Denoue 2000) il serait trop long de détailler ici toutes ces méthodes, nous n'aborderons rapidement que les K-ppv et les "Naïves Bayes".

Les K-ppv (Jaillet et al. 2003) diffèrent des autres méthodes d'apprentissage supervisé, les données d'apprentissage sont simplement stockées. Pour prédire la classe d'une nouvelle donnée, on va choisir la classe majoritaire parmi ses K plus proches voisins.

La méthode Naïves Bayes (Belot 2003) suppose l'indépendance des variables (les mots dans notre cas) ; on va calculer la probabilité de chaque classe dans un ensemble d'apprentissage, ainsi que la fréquence d'apparition des variables d'entrées (les mots) avec celles de sortie (les classes).

Malgré l'hypothèse d'indépendance souvent fautive, les classifieurs bayésiens naïf donnent de bons résultats et sont simples à mettre en oeuvre. Ils ont tendance à être détrônés de nos jours au profit de K-ppv ou de SVM plus performants.

### La classification non supervisée

Ces méthodes, aussi appelées "clustering", ne font aucune hypothèse sur le nombre de classes à trouver. Parmi

les très nombreux algorithmes de cette famille on trouve les méthodes de classification hiérarchique, SOM, Neural Gas, K-means, Walktrap, Birch, Cure, Chameleon... (Leray)

Ces classifications peuvent être strictes (un document ne peut appartenir qu'à une seule classe) ou recouvrantes (un document peut appartenir à plusieurs classes).

Le but commun de ces méthodes est de trouver des classes regroupant des individus (les documents) très proches entre eux (les plus semblables possibles) et faire en sorte que les classes soient les plus dissemblables possibles.

La première problématique va être de mesurer une similarité (ou dissimilarité) entre documents. Comme nous l'avons vu précédemment, un document peut être représenté par un vecteur ; on peut alors envisager de mesurer une distance : la plus connue est la distance Euclidienne (basée sur le théorème de Pythagore), mais il existe toute une panoplie de métriques qui peuvent être utilisées (distances de Manhattan, Minkowski, Chi-2...).

Vient ensuite le choix de l'algorithme de clustering, il dépendra de l'habitude de l'utilisateur, du type et du volume de données, du but poursuivi... Nous allons nous arrêter quelques instants sur deux des méthodes les plus classiques :

L'algorithme des K-means (MacQueen, 1967) très utilisé et assez simple à implémenter consiste à créer K groupes de documents de façon à ce que chaque groupe soit le plus dense possible et que ces groupes soient les plus distants possibles. L'utilisateur choisit le nombre de classes maximum désiré (K) et va initialiser K classes par un point représentant le centre de chaque classe. Les documents sont ensuite affectés à la classe dont ils sont le plus proche et le centre de la classe est recalculé jusqu'à stabilisation.

La méthode SOM (Self Organizing Map) ou "Carte Auto Adaptative" (Kohonen, 1982) est une méthode de la famille des "Réseaux de Neurones" souvent utilisés en Intelligence Artificielle et inspiré du système neuronal du cerveau des vertébrés. La grille de la carte Auto Adaptative représente l'ensemble des données étudiées (les documents) et chaque neurone (noeud de la grille) représente un groupement particulier des données (classe de documents). SOM utilise une structure de voisinage bien définie sous la forme d'une grille bidimensionnelle ou multidimensionnelle. Son algorithme débute par l'initialisation de la carte de voisinage avec une sélection aléatoire des neurones. A chaque itération, l'insertion d'une nouvelle donnée induit un auto-ajustement de la carte par la modification du vecteur de référence du neurone le plus proche de la donnée d'entrée ainsi que ses voisins directs.

## La détection de thématiques émergentes

De nos jours, le rôle joué par les technologies émergentes dans les avancées scientifiques, industrielles et sociétales est essentiel. Les analyses économiques montrent que l'innovation technologique contribue considérablement à la croissance économique et cet effet n'a cessé d'augmenter ces dernières décennies. Incontestablement, la connaissance précoce de produits et procédés novateurs est une nécessité stratégique qui joue un rôle prépondérant dans leur processus d'évaluation et contribue à une prise de décision à bon escient répondant à de réels besoins. Les méthodes d'analyse diachronique permettant de suivre les évolutions temporelles dans de grands volumes de données permettent de repérer et analyser les émergences. Deux approches sont possibles :

- (1) réaliser des classifications à différentes périodes de temps et analyser les évolutions entre les différentes phases (approche par pas de temps),
- (2) développer des méthodes de classification qui permettent de suivre directement les évolutions : les méthodes de classifications incrémentales.

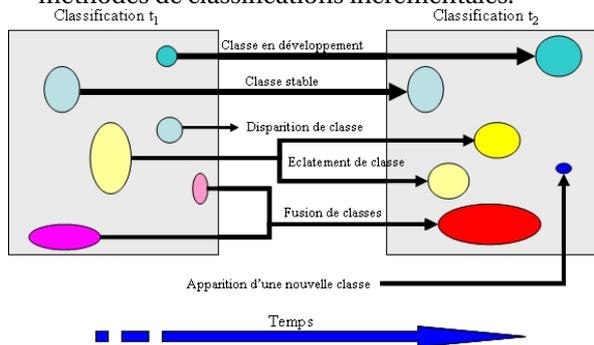


Fig. 6 : Schéma d'évolutions temporelles détectées par une analyse diachronique de classifications.

Dans les deux cas, les modes de visualisation des résultats sont primordiaux pour permettre une utilisation réelle de ces méthodes et ne sont pas encore résolus (figure 6). Il existe des méthodes de comparaisons de classification à partir de règles d'associations floues (Cuxac et al. 05) qui vont prendre en compte les mots de chaque classe et leurs poids (leur importance) dans ces classes. Récemment, Lamirel et al. (2010) ont proposé une approche basée sur un paradigme de communication entre classifications. Ce paradigme appelé MVDA (MultiView Data Analysis) permet de définir des stratégies d'analyse efficaces et précises basées sur la séparation de l'ensemble de données analysées en périodes de temps, chaque période constituant alors un point de vue spécifique. Le raisonnement bayésien de ce modèle s'appuie sur la distribution des données (les documents) ou

sur la distribution de leurs propriétés (les mots) dans les classes, cette dernière approche s'avérant être la plus précise.

## Applications et perspectives

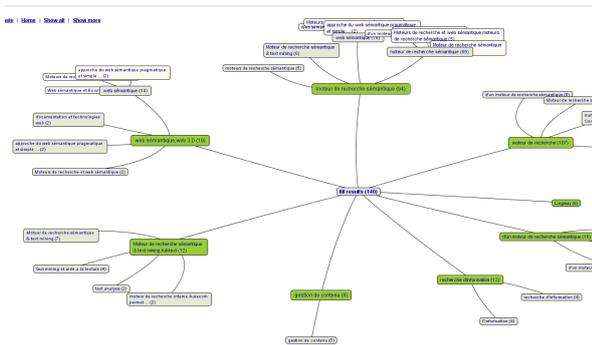
Nous côtoyons des applications de ces techniques dans notre vie quotidienne : à travers les sites de dépêches d'actualité que nous consultons, ou en utilisant certains moteurs de recherche (figure 7 et 8), ou encore en consultant les conseils d'achats de sites comme amazon.fr ou sur les sites de groupes de discussion ou réseaux sociaux. Les annuaires tels google-annuaire sont une illustration évidente des méthodes de classification.

L'analyse des questions ouvertes d'un questionnaire (d'un sondage), l'analyse des réclamations de clients, le filtrage de spams, la réalisation de résumés automatiques, sont autant d'applications qui font appel à ces techniques d'analyse de documents.

Ces méthodes permettent également de détecter (et donc de filtrer) des contenus illicites sur Internet : un exemple intéressant est la détection de sites web contenant des propos racistes (Vinot et al. 2003).

Fig. 7 : Le moteur de recherche Yippy et sa représentation des résultats après une étape de clustering. (<http://search.yippy.com>)

# L'ORDINATEUR SAIT LIRE : ANALYSE INTELLIGENTE DE DOCUMENTS ET DÉCOUVERTE DE CONNAISSANCES



**Fig. 8 : La représentation arborescente des résultats du moteur de recherche Polymeta (<http://www.polymeta.com>)**

Moins évident pour le grand public sont les systèmes qui, partant du texte extraient la connaissance et non plus seulement l'information. Pour illustrer cela, imaginons que l'on puisse interroger Internet en tapant dans n'importe quelle langue "quelles sont les planètes qui ont des dimensions similaires à la Terre?". Le système qui permettra d'avoir directement la réponse à cette question en analysant des millions de textes sera issue de la recherche sur la découverte de connaissances.

## Bibliographie sommaire

- Bellot P., (2003) : Méthodes de catégorisations et de classifications de textes, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Mai 2003
- Cuxac P., Cadot M., François C., (2005) : Analyse comparative de classifications : apport des règles d'association floues. Revue des Nouvelles Technologies

de l'Information RNTI-E-3 Vol. II, Pp.519-530; 5èmes journées d'Extraction et Gestion de Connaissances EGC, Paris, Université Paris 5, 19-21 janvier 2005

- Denoue L., (2000) : Classification supervisée de documents. [http://docs.happycoders.org/orgadoc/artificial\\_intelligence/classification\\_documents/classification.pdf](http://docs.happycoders.org/orgadoc/artificial_intelligence/classification_documents/classification.pdf) (consulté le 08/02/2011)
- Jaillet S., Teisseire M., Chauche J., Prince V., (2003) : Classification automatique de documents. XXIème congrès Inforsid, Nancy, 3-6 juin 2003.
- Kohonen T., (1982) : Self-organized formation of topologically correct feature maps, Biological Cybernetics, Vol. 43, pp 56-59.
- Lamirel J.-C., Cuxac P., Haydar C., François C., (2010) : A New General Paradigm for Mining Research Topics Evolving over Time, 3rd International Conference on Information Systems and Economic Intelligence (SIE'2010), Sousse, Tunisia, February 2010.
- Leray P. : Le Clustering en 3 leçons. <http://asi.insa-rouen.fr/enseignement/siteUV/dm/Cours/clustering.pdf> (consulté le 08/02/2011)
- MacQueen J.B., (1967) : Some methods of classification and analysis of multivariate observations, L. Le Cam L. and Neyman J. Eds., Proc. 5th Berkeley Symposium in Mathematics, Statistics and Probability, vol 1., pp 281-297, Univ. of California, Berkeley, USA.
- Turenne N., (2001) : Etat de l'art de la classification automatique pour l'acquisition de connaissances à partir de textes. Technical Report, INRA, 2001
- Vinot R., Grabar N., Valette M., (2003) : Application d'algorithmes de classification automatique pour la détection des contenus racistes sur l'Internet. Conférence TALN, Ba

# **Ordinateur et médecine : extraire des connaissances à partir de données médicales**

Sandra Bringay, Dpt MIAp UM3, LIRMM-CNRS-UM2, 34000, Montpellier, France  
Nathalie Bricon-Souf, EA2694 CERIM, Univ Lille Nord de France, UDSL, 59000 LILLE, France  
Audrey Baneyx, Sciences Po, médialab, 75007, Paris, France

Sans prétendre à l'exhaustivité, cet article se veut une suite au premier atelier ECS — Extraction de Connaissances et Santé<sup>8</sup> associé à la conférence EGC — Conférence Internationale Francophone sur l'Extraction et la Gestion des Connaissances<sup>9</sup> qui s'est déroulé en Janvier 2011 à Brest. En reprenant les échanges ayant eu lieu au cours de l'atelier, nous proposons une brève introduction à l'extraction de connaissances à partir de données médicales ainsi que des références associées. Il s'agit de présenter les principaux enjeux et d'ouvrir des pistes de réflexion sur les applications possibles.

L'accès aux connaissances médicales est primordiale pour les professionnels de santé comme pour le grand public. Appréhender, manipuler, parcourir de telles données est difficile car les utilisateurs sont confrontés à d'importants volumes de données hétérogènes. La mise en place de systèmes d'information médicaux performants est d'ailleurs l'un des enjeux des dernières réformes du système de soin français. L'informatisation, la numérisation, l'échange et la mutualisation d'une partie des connaissances médicales élaborées à partir de l'analyse des cas des patients sont désormais une réalité. Les challenges actuels ne portent plus sur l'amélioration de leurs performances en termes de stockage et de traitement rapide des gros volumes de données mais plutôt sur l'exploitation «efficiente» en terme de qualité des masses d'informations existantes. Face à la multiplication des sources d'informations médicales potentiellement accessibles et face à l'augmentation vertigineuse des productions textuelles, ces tâches sont particulièrement critiques. En particulier, il convient de prendre en compte les spécificités des vocabulaires métier des utilisateurs. Les dernières techniques de l'intelligence artificielle et plus particulièrement les méthodes d'extraction et de modélisation des connaissances sont alors très pertinentes pour tirer le meilleur parti et mobiliser l'ensemble de ces données si particulières.

## **Quels types de données en santé ?**

Grâce aux technologies de l'information et de la télécommunication, les connaissances médicales sont échangées au sein des services hospitaliers, entre les services, entre les hôpitaux et les autres organisations médicales (mutuelles, réseaux de soin...), à un niveau régional et national. Elles sont pour la plupart collectées via les dossiers des patients par l'ensemble des professionnels de santé (généraliste, praticien hospitalier, infirmière, spécialiste, laboratoire...).

Les données de santé sont hétérogènes dans leur nature (numérique, textuelle, image...) et leur structure. Ainsi, elles peuvent être très structurées comme, par exemple, les données administratives concernant les patients lors de leurs hospitalisations ou encore les résultats de laboratoire générés et pouvant être interprétés automatiquement. Beaucoup de données, au contraire, ne sont pas structurées : les textes libres des compte rendus d'hospitalisation, les lettres échangées entre médecins, les messages électroniques... Elles sont parfois entachées d'erreurs et sont très souvent extrêmement volumineuses. De plus, les données de santé doivent faire l'objet d'une protection particulière car elles sont particulièrement sensibles (personnelles, soumises au secret médical, potentiellement réutilisables à des fins mercantiles...).

Des données non nominatives (ou anonymisées) sont extraites de ces dossiers pour être utilisées par les autorités médicales dans leur mission de gestion médico-économiques des établissements. Ainsi, en France, la T2A - tarification à l'activité - s'appuie sur l'évaluation de l'activité des services hospitaliers. Pour ce faire, les professionnels de santé codent pour chaque séjour de patient les diagnostics élaborés (via la CIM10 - Classification Internationale des Maladies) et les actes réalisés (via la CCAM - Classification Commune des Actes médicaux).

8. <http://www.ecs2011.org/>

9. <http://www.ensta-bretagne.fr/egc11/>

## ORDINATEUR ET MÉDECINE : EXTRAIRE DES CONNAISSANCES À PARTIR DE DONNÉES MÉDICALES

Des données non nominatives et/ou anonymisées sont également extraites de ces dossiers pour être utilisées par les professionnels de santé dans leur mission de recherche. Les études épidémiologiques portent sur les facteurs influant sur la santé et les maladies des populations. Les suivis de cohortes portent sur un ensemble d'individus ayant vécu un même événement au cours d'une même période. Par exemple, la cohorte PAQUID (Personnes Agées Quid) portant sur 3777 sujets de plus de 65 ans suivis pendant 17 ans en Gironde et Dordogne a donné lieu à plus de 150 articles dans des revues internationales sur le thème du vieillissement, de la maladie d'Alzheimer, de la dépendance... De ces études sont issus des guides de bonnes pratiques, des systèmes informatiques axés sur la prédiction et la recommandation et des protocoles qui sont utilisés par les professionnels de santé dans leur mission de soin.

Les patients témoignent sur des sites dédiés comme Doctissimo, bloguent pour raconter leur maladie sur leurs sites personnels, tweetent et interagissent avec leur amis pour les maintenir au courant de leur état via les statuts facebook

### Traitements associés aux données médicales

Nous présentons, via quelques exemples issus des discussions de l'atelier, des axes de recherche prometteurs dans le domaine de la santé pour l'extraction, la modélisation et le traitement des données médicales.

#### Traitement de données : fouille et extraction

La plupart du temps, les données médicales sont exploitées par des méthodes statistiques. Or la quantité de données à traiter est telle que même si ces méthodes statistiques sont robustes, il est intéressant d'explorer d'autres pistes pour exploiter toute leur richesse potentielle. Les méthodes de fouille de données sont complémentaires et permettent de découvrir des connaissances nouvelles et potentiellement utiles.

Par exemple, dans le cas de la surveillance épidémiologique, l'approche traditionnelle, statistique et thématique, reste limitée car elle consiste à traiter les données avec un axe d'analyse prédéfini soit pour expliquer et quantifier ce que l'on sait déjà (approche descriptive), soit pour mettre en relation des variables que l'on pré-suppose reliées.

Une approche alternative comme la fouille de données (méthodes d'extraction de connaissances à partir de données complexes, volumineuses, hétérogènes et multi-

échelles) consiste à « rechercher en aveugle » et à « faire émerger » des relations entre variables, événements ou motifs au sein des ensembles de données sans a priori sur celles-ci. On peut citer les travaux du laboratoire PPME de l'UNC (Université de la Nouvelle Calédonie) qui a proposé lors de la conférence EGC, une méthode de recherche de motifs spatio-temporels permettant d'étudier les épidémies de dengue en Nouvelle Calédonie (Mabit et al. 2011). L'exploitation automatique des données issues des puces à ADN publiées sur le Web est un autre exemple d'application des méthodes de fouille de données.

Ces méthodes et algorithmes sont, d'une certaine manière, victime de leur propre puissance, du fait du nombre de données générées pour chaque puce (celles-ci se comptent en dizaines de milliers de points). On peut citer les travaux de l'équipe TATOO du LIRMM qui a recherché des motifs séquentiels dans les puces à ADN pour des applications liées au cancer du sein et à la maladie d'Alzheimer (Rabatel et al. 2011). Les méthodes de fouille peuvent s'enrichir de connaissances issues d'autres champs applicatifs que celui traité. Ainsi le GREYC a découvert des motifs pertinents dans les données génomiques en s'appuyant sur une analyse linguistique des textes de la littérature (Kléma et al. 2006).

Finalement, l'utilisation de méthodes d'extraction automatique de connaissances et l'emploi de ces méthodes combinées permettent de dégager des liens logiques dans la masse des données médicales.

#### Modélisation et représentation : le passage des données aux connaissances

L'objet des méthodes de modélisation des connaissances est d'identifier et de structurer les données en une représentation qui soit visible, manipulable, compréhensible, et communicable. Il s'agit d'assurer ainsi le passage des données aux connaissances. Par exemple, (Delcroix, 2011) a proposé une méthode permettant de modéliser les connaissances des professionnels de santé et des patients qui collaborent pour choisir un fauteuil roulant dans le but de faciliter la prise de décision.

Pour le recueil d'informations (aide au codage des diagnostics et des actes, réalisation d'études épidémiologiques...) et pour l'accès aux connaissances médicales (base de données bibliographiques MEDLINE, base de connaissances VIDAL sur les médicaments, documents disponibles sur l'Internet, terminologies médicales, thésauri...), la modélisation peut s'avérer complexe et nécessite l'utilisation de ressources terminologiques et ontologiques nationales et internationales (Merabti et al, 2011). Née des besoins de représentation des connaissances, l'ingénierie ontolo-

# ORDINATEUR ET MÉDECINE : EXTRAIRE DES CONNAISSANCES À PARTIR DE DONNÉES MÉDICALES

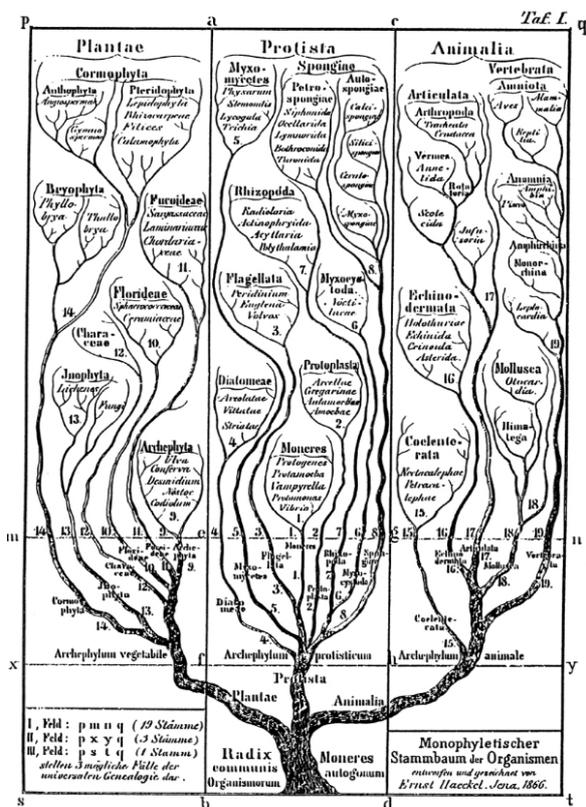
gique cherche à mettre au point des structures et des modèles informatiques spécifiant une certaine vue d'un domaine donné (par exemple celui des soins intensifs, (Charlet, 2006)). Les ontologies sont aujourd'hui des composants logiciels avancés qui nécessitent la mise en place d'outils de raisonnement et de calcul, la définition de langages formels de représentation et s'insèrent au centre des systèmes informatiques (systèmes d'aide à la décision, systèmes prédictifs, système de codage du dossier patient...) pour leur apporter une dimension sémantique qui, jusqu'à présent, leur faisait défaut (Delcroix, 2011). La santé est un des domaines privilégiés de la modélisation des connaissances qui s'appuie sur une longue tradition de nomenclatures et de classifications, notamment dans le domaine de la biologie (cf. figure 1).

turelle de l'information pour la dénaturer le moins possible et adopter la représentation informatique la plus efficace (question de la gestion et de la structure des données). Cela soulève deux principaux problèmes qui font actuellement l'objet de plusieurs recherches (Baneyx, 2007) : (1) comment faut-il organiser les informations de façon à obtenir le système le plus efficace et le plus informatif? (2) comment peut-on représenter les informations présentes dans la langue en leur conservant le maximum de richesse (et donc d'ambiguïté) sans renoncer à appliquer les algorithmes de traitement automatique ?

## Standardisation pour l'interopérabilité des systèmes d'informations

L'émergence d'ontologies et de terminologies abouties dans le milieu médical ne peut suffire à assurer l'interopérabilité des données. Des travaux importants adressent la problématique de la réutilisation de connaissances déjà acquises. On voit ainsi apparaître de nombreuses recherches portant sur la fusion et l'alignement des ontologies (Furst et al, 2009) (Hamdi, et al, 2009). La proposition de serveurs multi-terminologiques (Joubert et al, 2009) permet d'explorer les liens entre les différents systèmes de représentation des connaissances médicales.

Les standards d'échange de données médicales sont largement étudiés. En particulier, HL7 (Health Level 7) propose désormais une représentation de l'information médicale basée sur une représentation objet, le RIM (« Reference Information Model »). De nombreux projets menés pour extraire des connaissances médicales en santé ont fait un gros travail de fédération de différentes données issues de différents systèmes de santé, ainsi on peut citer 2 projets européens récents (7th Framework) ayant abordé ces problématiques dans le domaine de la santé : PSIP Patient Safety through Intelligent Procedure in medication (coord CHRU Lille) et DEBUGIT Detecting and Eliminating Bacteria UsinG Information Technology (Coord AGFA Belgique). La représentation de ces données dans des standards interopérables est l'un des axes de recherche abordé dans l'article de (Messai, 2011).



**Fig 1 — Arbre phylogénétique des êtres vivants selon Haeckel (1866).**

Les utilisateurs potentiels de ce type de ressources sont le grand public, les étudiants et les médecins, ainsi que des organismes et institutions publiques ou semi-publiques (services dans les hôpitaux, sociétés savantes de médecine...).

Outre les problèmes terminologiques, le traitement du langage médical par l'outil informatique reste un problème majeur. En effet, il faut rester proche de la structure na-

## Les acteurs de la recherche

La communauté mobilisée autour de ces thèmes de l'extraction de connaissances et de la santé est particulièrement active en France et en Europe comme le montrent les articles, ateliers et sessions spéciales dans les conférences française européenne et internationales suivantes : la conférence internationale francophone sur l'Extraction

## ORDINATEUR ET MÉDECINE : EXTRAIRE DES CONNAISSANCES À PARTIR DE DONNÉES MÉDICALES

et la Gestion des Connaissances (EGC), les journées francophones d'Ingénierie des Connaissances (IC), la conférence internationale Terminologie et Intelligence Artificielle (TIA), la conférence internationale Knowledge Engineering and Knowledge Management (EKAW), la conférence internationale Knowledge Capture (K-Cap), ...

Dans les organisations qui peuvent s'intéresser à l'application des techniques d'intelligence artificielle à la santé, on retrouve le GRACQ<sup>10</sup>, Collège IC de l'Association Française d'Intelligence Artificielle (AFIA), qui est la structure d'animation française correspondant au thème 7 du GDR I3 (Information - Interaction - Intelligence). L'association gère également la liste d'information info-ic @ listes.irisa.fr

La communauté plus spécifique de l'Informatique Médicale qui regroupe des informaticiens et des professionnels de la Santé est également dynamique, avec entre autres l'AIM Association d'Informatique Médicale, les journées francophones d'informatique médicale JFIM, le Symposium sur l'Ingénierie de l'Information Médicale SIIM, la conférence européenne MIE Medical Informatics Europe, les conférences internationales Medinfo Medical Informatics et AIME Artificial Intelligence in Medicine.

### Besoins, enjeux et perspectives d'utilisation des données médicales

L'activité médicale engendre de nombreux besoins d'extraction de connaissances et d'utilisation de données médicales. De nouvelles perspectives se développent. Parmi l'ensemble des possibles, nous pouvons souligner des besoins autour des éléments suivants :

Les dossiers médicaux : dossiers patients, dossiers de soins, dossiers partagés, dossier personnels, dossiers pharmaceutiques, dossiers de spécialités et dossiers en ligne, l'information est multiple, importante, sensible, mérite d'être échangée, doit être pérenne et actualisé, nécessite interopérabilité et échange, requiert sécurité et confidentialité.

Les systèmes d'aide à la décision : ainsi que le souligne un rapport destiné à la Haute Autorité de Santé en 2010, les systèmes d'aide à la décision médicaux concernent différents types de décisions : Accès en ligne à des informations de référence ; Recherche et présentation de données cliniques pertinentes ; Aide à la documentation des soins ; Aide à la prescription des actes diagnostics ou des médicaments ; Gestion des protocoles pour la prise en charge des maladies chroniques ; Rappels ou aide-mémoire... Tous ces

outils méritent d'être améliorés et mieux intégrés à l'activité.

La médecine personnalisée : les avancées en génomique, en pharmacogénomique, en imagerie et dans nombre de domaines médicaux permettent d'imaginer une médecine qui demain, permettra de cibler de façon précise et individualisée les soins et médicaments à apporter à chaque individu.

Le patient au centre de l'action de santé : les informations médicales convergent autour du patient, l'avènement des réseaux sociaux, forum de discussion et autres facilités offertes par le web 2 lui offre de plus en plus de possibilité pour être acteur de ses soins. La notion de « Consumer Health » se développe. Le thème de la prochaine conférence internationale Européenne Médicale : MIE'2011, « User Centred Networked Health Care » souligne l'importance de tels aspects.

L'accès à l'information médicale : que ce soit au niveau des informations contenues dans les lettres et compte-rendu médicaux, au niveau des informations disséminées sur Internet, l'indexation et la recherche d'information médicale, la génération automatique de résumés, de traduction, la présentation des informations pertinentes posent de multiples challenges.

### Bibliographie

- Baneyx A. (2007)<sup>11</sup>. Construire une ontologie de la pneumologie : aspects théoriques, modèles et expérimentations . PhD thesis, Université Paris 6, Paris, France.
- Charlet J. et al (2006). Building medical ontologies by terminology extraction from texts : An experiment for the intensive care units. *Computer in Biology and Medicine*, 36(7 — 8), 857 — 870.
- Delcroix V. et al (2011). Extraction et formalisation des connaissances pour l'aide au choix et aux réglages du Fauteuil Roulant Manuel . Actes de l'atelier ECS 2011, EGC 2011, Brest, France.
- Hamdi F. et al (2009). Alignment-based Partitioning of Large-scale Ontologies. Chapter of the book *Advances in Knowledge Discovery and Management, Studies in Computational Intelligence*, H. Briand, F. Guillet, G. Ritschard and D. Zighed (Ed.), Springer.
- Joubert M. et al (2009). SMTS : Un serveur multiterminologies de santé, JFIM. Springer, Informatique et Santé 17.

10. <http://www.irit.fr/GRACQ/>

11. Disponible à [http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/17/62/24/PDF/MANUSCRIT\\_BANEYX.pdf](http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/17/62/24/PDF/MANUSCRIT_BANEYX.pdf)

## ORDINATEUR ET MÉDECINE : EXTRAIRE DES CONNAISSANCES À PARTIR DE DONNÉES MÉDICALES

- Mabit, L. et al (2011). Modélisation de la dynamique de phénomènes spatio-temporels par des séquences de motifs. Actes des 11èmes journées Extraction et Gestion des Connaissances (EGC'11). RNTI-Hermann ed. 2011. pp. 455-466.
- Merabti T. et al (2011). Automatic methods for mapping Biomedical terminologies in a Health Multi-Terminology Portal . Actes de l'atelier ECS 2011, EGC 2011, Brest, France.
- Messai R. (2011). Réseau d'observation en télécardiologie : Modèle de données basé sur HL7 . Actes de l'atelier ECS 2011, EGC 2011, Brest, France.
- Rabatel, J. et al (2011). Prédiction du grade d'un cancer du sein par la découverte de motifs séquentiels contextuels dans les puces à ADN, Actes de l'atelier ECS 2011, EGC 2011, Brest, France.
- Furst F. et al (2009). Axiom-Based Ontology Matching. Expert Systems : The Journal of Knowledge Engineering. Volume 26(2), pp218-246. Editors L. Rapanotti & Jon G. Hall. Blackwell Publishing.
- Kléma J. et al (2006). Mining Plausible Patterns from Genomic Data. CBMS 2006 : 183-190.

### Du coté des éditeurs ...

Voici quelques livres que nous avons reçus : si vous êtes intéressé d'obtenir un exemplaire de l'un d'entre eux, pour rédiger une recension, envoyer un email à l'un des membres du comité de rédaction (voir page 2).

- Pascal Van Hentenryck, Russel Bent. Online stochastic combinatorial optimization. MIT Press, December 2006.
- Philip Husbands, Owen Holland, Michael Wheeler (eds.), The Mechanical Mind in History. MIT Press, 2008.

### L'AFIA recrute

Nous recherchons une personne qui pourrait tenir la rubrique « **Présentation de laboratoires** » pour le Bulletin de l'AFIA. Cette personne fera partie du Comité de Rédaction du Bulletin, et devra être capable de joindre des chercheurs/enseignants/ingénieurs dans les mondes académiques ou industriels, afin de récolter une présentation de laboratoire tous les 3 mois. Toute personne intéressée est invitée à envoyer un courrier électronique à l'un des membres du comité de rédaction du Bulletin (voir page 2).

### Appel à contribution

Revue d'Intelligence Artificielle  
0992 — 499X

Revue des Sciences et Technologies de l'Information  
APPEL À CONTRIBUTION

La Revue d'Intelligence Artificielle fait alterner des numéros thématiques et des numéros généralistes. Les textes proposés sont soumis à une procédure de lecture par au moins deux arbitres. Il est tenu compte à la fois de l'importance du sujet traité par rapport aux thèmes ci-dessus, de la rigueur scientifique du texte, de l'originalité de la contribution, mais aussi de la présentation et de la lisibilité de l'article. Les chercheurs ou les spécialistes désireux de publier leurs travaux dans la Revue d'intelligence artificielle (<http://ria.revuesonline.com>) peuvent adresser une version électronique PDF de leur article à Yves Demazeau : [ria@lavoisier.fr](mailto:ria@lavoisier.fr)

Calendrier et appels à communication pour les prochains numéros thématiques :

New frontiers for Artificial Intelligence in Finance, date limite de soumission des articles : 15 mai 2011.

# Les transports deviennent intelligents : cela change tout

Flavien Balbo, Université Paris-Dauphine - LAMSADE et IFSTTAR-GRETTIA, [balbo@lamsade.dauphine.fr](mailto:balbo@lamsade.dauphine.fr) Régine Seidowsky, IFSTTAR-GRETTIA, [regine.seidowsky@inrets.fr](mailto:regine.seidowsky@inrets.fr)

Dans le domaine de la mobilité, les technologies de l'information et de la communication rendent possible depuis plusieurs années la mise en oeuvre d'une "intelligence" qui améliore la sécurité, la sûreté, l'exploitation, l'information et le paiement sans avoir nécessairement à modifier matériellement l'infrastructure existante. On parle alors de Systèmes de Transport Intelligents (STI ou ITS, pour "Intelligent Transport Systems"). Le développement des STI illustre l'évolution et plus généralement le rôle grandissant de l'informatique dans les systèmes de transport. Nous proposons de discuter comment des technologies issues de l'intelligence artificielle et s'appuyant sur cette évolution technologique peuvent aider à mieux appréhender la complexité des applications transports. Une première génération des systèmes d'intelligence artificielle appliqués au domaine des transports, s'appuyait sur des technologies de systèmes à bases de connaissance et de systèmes experts. Citons ainsi, en gestion des réseaux urbains, le système Claire-Siti (Forasté 1986)(Scemama 2004) implanté dans plusieurs villes en France. Ici, nous nous intéresserons plus spécifiquement à l'utilisation de l'intelligence ambiante et des systèmes multi-agents en nous appuyant sur le dossier de l'afia 66 ([www.afia-france.org/tiki-list\\_file\\_gallery.php?galleryId=1](http://www.afia-france.org/tiki-list_file_gallery.php?galleryId=1)) pour la partie multi-agent et le numéro 91 de la revue Génie Logiciel pour la partie intelligence ambiante.

S'appuyant sur une forte évolution technologique, l'intelligence ambiante est un nouveau domaine de recherche, appelé aussi dans la littérature académique : informatique ubiquitaire, informatique diffuse, informatique invisible... Historiquement, l'intelligence ambiante trouvent ses origines dans les travaux de Mark Weiser. Sa proposition était d'ajouter des capacités de mobilité et d'intégration des systèmes numériques dans le milieu physique au point de s'y confondre et ceci de manière spontanée, à de multiples échelles, de la planète au micro-, voire nano-objet. Ainsi, l'intelligence ambiante n'est pas liée à une technologie précise mais se veut plutôt un concept structurant l'utilisation de différentes technologies afin d'améliorer l'environnement des personnes. Dans cet article, nous discute-

rons comment mobilité et intelligence ambiante peuvent se conjuguer afin d'améliorer la qualité des déplacements.

L'approche multi-agent traite de systèmes constitués de nombreux composants distribués physiquement et/ou logiquement. Ces composants, appelés agents, interagissent et possèdent un certain niveau d'autonomie. Ils sont capables de percevoir leur environnement et de réagir à ses changements en fonction de leurs buts. Fondé sur une approche bottom-up de la conception de systèmes, le paradigme multi-agent simplifie la compréhension d'une réalité complexe par la réification des composants du système à gérer. Facilitant une approche par analogie, le paradigme multi-agent est souvent choisie pour modéliser, résoudre et/ou simuler des problèmes de transport qui sont soumis à des contraintes de gestion en temps réel, et/ou un environnement dynamique. Ces caractéristiques supposent des capacités de pro-activité et d'autonomie qui sont au coeur de la conception de systèmes multi-agents.

Dans ce qui suit, nous allons illustrer notre propos par la description d'applications issues des domaines de l'intelligence ambiante et des systèmes multi-agents et réalisés dans des domaines importants pour le transport à savoir la sécurité, l'information des voyageurs et la gestion de flux.

## Sécurité

La sécurité pour le transport concerne des réalités très différentes. En effet, il faut prendre en compte les risques liés aux parties mobiles et aux infrastructures, qu'il est nécessaire d'analyser selon les modes de transport. Les systèmes de transport intelligents peuvent contribuer à l'amélioration de la sécurité par une meilleure utilisation des informations disponibles. Le développement des technologies des capteurs (boucles électromagnétiques, capteurs vidéo, radar, fibres optiques, ultra son,...) contribue au recueil de données fiables, fréquentes et en grande quantité. Par exemple, dans le domaine de la sécurité routière, l'accès à des informations telles des mesures de caractéristiques des véhicules (longueur, silhouette, poids...), des

données de trafic (débit, taux d'occupation, vitesse...) ou bien des informations sur des événements (incidents, accidents, congestion, franchissement de feux rouges...) augmente les possibilités d'intervention. L'information peut ainsi être utilisée pour détecter une situation accidentogène, détecter une anomalie dans des comportements ou pour assurer une meilleure prévention.

**Détecter une situation accidentogène.** Par exemple, dans le domaine de la sécurité routière, s'il est nécessaire d'améliorer les communications liées à l'utilisation des capteurs installés sur ou dans la route, ou bien dans les véhicules, il faut aussi améliorer leur utilisation pour obtenir une meilleure réactivité de l'utilisateur dans son environnement.

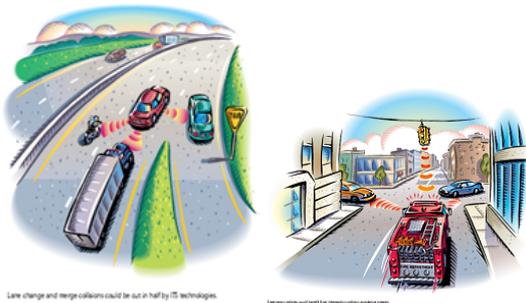


Figure 1 : sécurité et capteur.

L'intelligence ambiante participe à cette amélioration par la prise en compte des interactions entre le mobile et son environnement afin d'identifier un contexte accidentogène. Toujours dans le cas de la sécurité routière, nous trouvons des travaux où ces interactions exploitent des informations relatives à l'état du trafic qui sont produites localement puis distribuées entre les intervenants locaux en cas d'identification d'un danger. Ainsi, nous pouvons citer les travaux exploitant la communication inter-véhicule pour propager de l'information sur les ralentissements et éviter ainsi de brusques freinages (Schönhof 2007). L'utilisation de capteurs pour localiser les autres véhicules (Figure 1) permet une meilleure interaction entre les usagers et leur environnement pour améliorer la sécurité dans le cas d'insertion / changement de voie. De même, la communication avec les infrastructures afin de gérer les priorités au carrefour entre véhicules prioritaires (Figure 1) ou non ([ntl.bts.gov/lib/8000/8600/8699/8r\\_01.pdf](http://ntl.bts.gov/lib/8000/8600/8699/8r_01.pdf)).

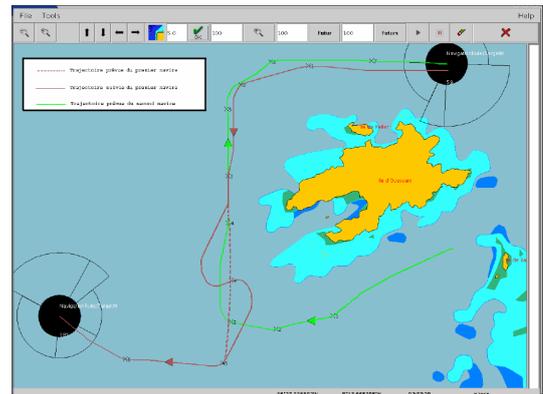


Figure 2 : évitement maritime

**Détections de comportements à risque.** Ces données recueillies peuvent également être exploitées afin de détecter des situations à risque liées à des comportements déviants ou pouvant aboutir à un incident. L'approche multi-agent permet la prise en compte de micro-comportement afin d'obtenir si besoin une analyse macro d'une situation. Si nous prenons pour exemple le domaine maritime, tout navire peut être considéré comme un agent qui cherche à satisfaire un objectif en allant du port de départ à destination. Ainsi, le projet ScanMaris (<http://www.irit.fr/SCANMARIS>) permet de surveiller les évolutions permanentes du trafic dense dans une zone maritime globale pour suivre les flux de marchandise transportée selon différents itinéraires et détecter les trafics criminels de produits illicites. L'activité illicite cherche toujours à se masquer derrière les objectifs déclarés d'un ou plusieurs navires. De même dans ([www.inrets.fr/fileadmin/recherche/transversal/fsd/ntic/NTIC13-31janv08/presFournier.pdf](http://www.inrets.fr/fileadmin/recherche/transversal/fsd/ntic/NTIC13-31janv08/presFournier.pdf)), l'approche multi-agent a également été utilisée comme support de systèmes d'aide à la décision notamment afin d'anticiper les collisions entre navires (Figure 2). Chaque agent représentant un acteur du milieu marin (navires, stations de surveillance, sauveteurs,...).

**Prévention des risques** La prise en compte des comportements a également été utilisée dans le domaine du piéton avec le logiciel RESPECT ([hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/54/62/48/PDF/RES-RFI\\_ind\\_31\\_final.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/54/62/48/PDF/RES-RFI_ind_31_final.pdf)). Il vise à concevoir un simulateur éducatif permettant de placer l'enfant-joueur dans des situations accidentogènes engendrées par des interactions entre les piétons et les véhicules. Dans ce cadre, l'animation comportementale des piétons est "pilotee" par un agent.

## Information des voyageurs

Informé correctement un voyageur consiste à lui fournir l'information dont il a besoin. Cette réalité toute simple suppose la résolution de difficultés bien réelles à tous les maillons de la chaîne d'information. Il faut notamment prendre en compte l'hétérogénéité des sources d'informations, la multiplicité des canaux de diffusion et le contexte du voyageur. Il s'agit donc de résoudre des problèmes qui peuvent être techniques comme l'adéquation du support mais également humain comme le respect de la vie privée du voyageur. La prise en compte du contexte du voyageur est une difficulté pour laquelle le recours aux techniques de l'intelligence artificielle peuvent apporter des réponses.

**Une information contextuelle adaptée.** Un service d'information peut être qualifié d'ambient, s'il renseigne le voyageur en fonction de son environnement direct. Il s'agit donc de service capable d'adapter l'information en fonction des spécificités de l'utilisateur, de sa localisation selon le besoin afin de l'aider à réaliser son voyage. Dans cette catégorie, nous pouvons citer par exemple des services aidant les voyageurs handicapés (Figure 3) ou les voyageurs dans un lieu de transit.

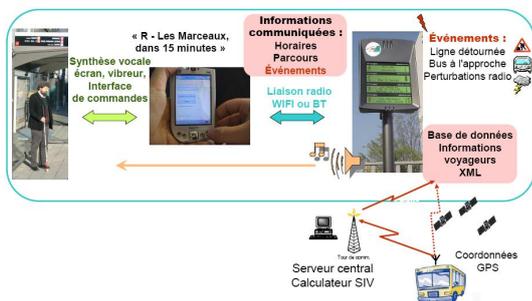


Figure 3 : information des voyageurs déficients

L'objectif est de confronter des informations sur le voyageur avec une information locale qui peut l'aider dans son déplacement. Ainsi ci-dessus, la personne aveugle prenant le bus est alertée dès que son bus arrive à proximité de son arrêt. Dans cet exemple, il s'agit d'une interaction purement locale entre le mobile du voyageur et l'arrêt.

Dans (Flissi 2005), un prototype de service tirant parti de l'interaction entre une gare et l'équipement nomade du voyageur a été testé (Smartphone...). A son arrivée en gare, le voyageur pénètre dans une "bulle" wifi. L'équipement entre en relation avec la gare. Ayant préalablement stocké le billet électronique, l'équipement "sait" qu'il entre dans un lieu signifiant, un lieu de service. La gare, de son côté, reconnaît le voyageur au travers de son équipement, reconnaît son profil et son besoin au travers des informations stockées dans cet équipement, et peut lui délivrer, de manière

proactive, un service adapté, par exemple, lui indiquer sur quel quai se trouve son train. Dans (Jacquet 2009) (Figure 4), l'objectif est de sélectionner l'affichage des informations sur les panneaux donnant les horaires en fonction des voyageurs à proximité.



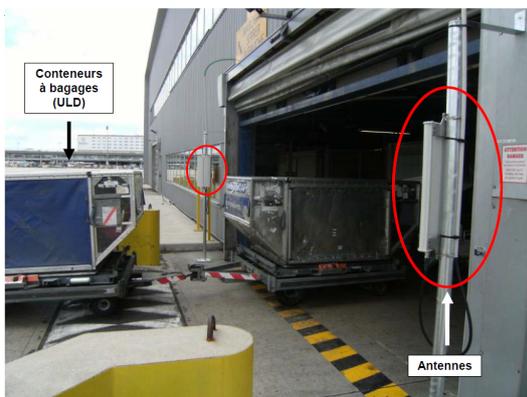
Figure 4 : affichage différencié

**Une information contextuelle dynamique.** Dans ce domaine, l'approche multi-agent est souvent utilisée afin de laisser un agent représentant le voyageur gérer lui-même les informations disponibles selon les préférences de son "propriétaire". Dans (Lech 2005), le voyageur dans un aéroport est localisé grâce à des tags qui peuvent donner une information sur son activité et les services sont adaptés en conséquence. Un agent "context" surveille son environnement afin de prendre en compte toute nouvelle information. Ainsi dans (Zargayouna 2005), les auteurs proposent un serveur d'information dans lequel les agents peuvent choisir les informations pertinentes selon leur contexte, assurant ainsi un suivi dynamique des informations lors du déplacement du voyageur. Dans (Anli 2006) et (Petit 2006), les auteurs proposent des agents personnalisés qui prennent en compte leurs préférences dans le choix d'itinéraires ou propose des solutions de transport correspondant aux rendez-vous planifiés. En effet, l'ajout d'un événement lié à un déplacement, dans l'agenda, déclenche le calcul d'un itinéraire correspondant.

## Gestion de flux

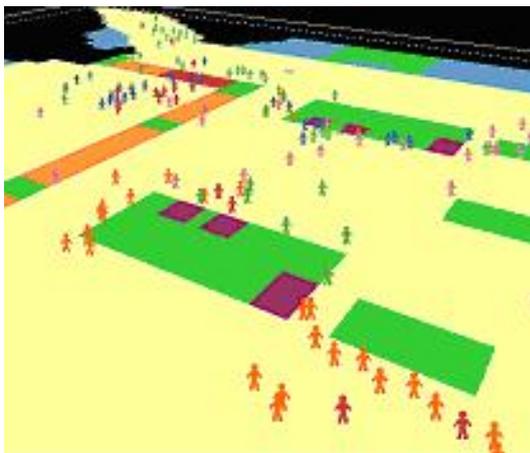
Dans cette partie, nous traiterons des différents systèmes de gestion de flux de personnes ou de biens. Ils ont pour caractéristique commune d'avoir à gérer en temps réel des mobiles soumis à l'aléa des réseaux de transports. Il s'agit donc de prendre en compte les problèmes liés au mobile lui-même ainsi qu'aux réseaux. Il faut donc trouver un équilibre entre les besoins des mobiles, les offres de transport et les aléas du trafic.

**Gestion de mobiles** Dans le domaine du transport de marchandises, il est nécessaire à la fois d'identifier à l'aide de systèmes de navigation embarqués, les véhicules, trains ou autres engins et de localiser le fret (conteneurs, palettes, colis...) pour suivre l'avancement et éviter les pertes. Le recours à l'intelligence ambiante devrait permettre à la fois une amélioration du processus métier actuel mais surtout le développement de nouveaux services. Le principe général est de mieux suivre les flux grâce une interaction locale entre des objets en déplacement et équipés en RFID et leur environnement immédiat afin d'alimenter les applications métiers en information fiables et temps réel, et d'améliorer ainsi leurs performances (Figure 5).



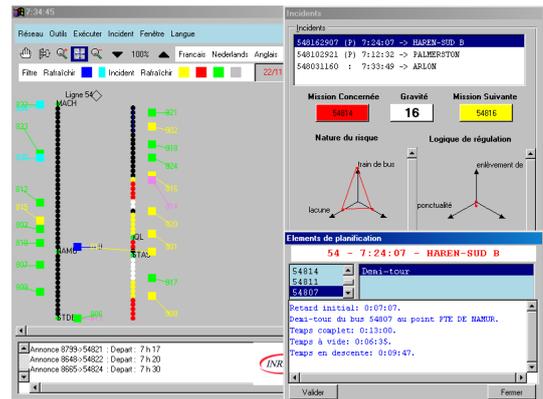
**Figure 5 : Logistique et transport aérien**

La simulation multi-agent a été utilisée afin d'améliorer l'aménagement des espaces publics. Pour les piétons, l'objectif est rendre possible la circulation libre et sécurisée des flux dans des espaces où se rassemble parfois une foule importante, et offrir des activités et services imposant des arrêts et des temps d'attente, par exemple dans (Banos 2009) (Figure 6). A l'échelle d'une ville, il s'agit de réfléchir à la mise en oeuvre d'une ville durable.



**Figure 6 : Des agents dans le métro (au premier plan, file d'attente au distributeur de tickets)**

**Gestion de réseaux de transport** Dans le domaine de la gestion des réseaux public urbains, il s'agit d'aider l'exploitant à assurer une régulation en temps réel. Dans ce cadre, l'approche multi-agent permet par la réification des composants du réseau de faciliter la compréhension de situations complexes. Par exemple, le système d'aide à la décision SATIR propose une réponse adaptée (Figure 7) aux difficultés de gestion en temps réel de réseaux urbains de surface.



**Figure 7 : Interface utilisateur de SATIR**

Le système multi-agent proposé permet d'assurer une gestion dynamique des horaires ainsi que la gestion des incohérences des données issues des capteurs. Lorsqu'une situation à problème a été détectée (en l'occurrence le retard important d'un véhicule) le système multi-agent se réorganise afin d'assurer un diagnostic puis d'apporter une solution. Dans le domaine ferroviaire [www.inrets.fr/fileadmin/recherche/transversal/fsd/ntic/NTIC13-31janv08/presFeillee.pdf](http://www.inrets.fr/fileadmin/recherche/transversal/fsd/ntic/NTIC13-31janv08/presFeillee.pdf), l'approche multi-agent a permis la conception d'un simulateur, où des agents trains, régulateurs et gares doivent se coordonner afin de reproduire de la réalité du réseau. Le résultat est intégré à un système d'aide à la décision en temps réel pour modifier les consignes de vitesses, l'ordre des trains, l'affectation des voies, la modification des missions...

## Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté quelques exemples pour lesquels le recours à des approches issues de l'intelligence artificielle a permis de proposer des solutions innovantes. L'hétérogénéité des applications et des thématiques abordées souligne l'importance des bénéfices que le domaine du transport peut espérer obtenir de l'utilisation de ces approches. Symétriquement, la difficulté des problèmes à traiter constitue des défis que le monde de l'intelligence artificielle a tout intérêt à aborder afin de progresser.

## Bibliographie

- A. Anli. Méthodologie de développement des systèmes d'information personnalisés - Application à un système d'information au service des usagers des transports terrestres de personnes. Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, octobre 2006.
- F. Balbo et S. Pinson. Using intelligent agents for Transportation Regulation Support System Design, Transportation Research Part C : Emerging Technologies 18(1), pages 97-115, 2009.
- A. Banos et A. Pare. Simuler les déplacements de piétons dans une station de metro : une approche a base d'agents, Revue Internationale de Geomatique, N.r4-2009, pp 277-302, 2009
- A. Flissi, C. Gransart et P. Merle : A Service Discovery and Automatic Deployment Component-Based Software Infrastructure for Ubiquitous Computing. CAiSE Workshops, pp 601-615,2005
- B. Forasté et G. Scemama, "Surveillance and congestion traffic control in Paris by Expert System", Second International Conference on Road Traffic Control, IEE London, pp 333-337, 1986.
- C. Jacquet, Y. Bourda et Y. Bellik. "Multimodal Presentation of Information in a Mobile Context". In the book "Advanced Intelligent Environments", Springer Publ., 36 pages, ISBN : 978-0-387-76484-9, 2009.
- T. C. Lech et L. W. Wienhofen. AmbieAgents : a scalable infrastructure for mobile and context-aware information services. In Proceedings of the Fourth international Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems . AAMAS '05. ACM, New York, NY, 625-631.
- C. Petit-Rozé et E. Grislin-le strugeon. MAPIS, a multi-agent system for information personalization. Information and Software Technology, 48, pp. 107-120, 2006.
- G. Scemama et O. Carles, "CLAIRE-SITI, Public and Road Transport Network Management Control : A Unified Approach", 11th IEE International Road Transport Information and Control Conference, Londres, 8 pages, Avril 2004.
- M. Schönhof, M. Treiber et A. Kesting, and D. Helbing Autonomous Detection and Anticipation of Jam Fronts from Messages Propagated by Inter-vehicle Communication Transportation Research Record, Volume 1999, pp 3-12, 2007.
- M. Zargayouna, F. Balbo et J. Saunier. Agent Information Server : A Middleware for Traveler Information. ESAW 2005, pp 14-28

# La description du réel, un premier pas vers l'usine numérique

Anne Dourgnon-Hanoune, EDF R&D ([anne.dourgnon@edf.fr](mailto:anne.dourgnon@edf.fr)) Loïc Depecker, Université Paris Sorbonne ([loic.depecker@univ-paris3.fr](mailto:loic.depecker@univ-paris3.fr)) Eunika Mercier-Laurent, Innovation3D ([eunika@innovation3d.fr](mailto:eunika@innovation3d.fr))

Observer, identifier, décrire, définir et nommer sont les actes essentiels de toute description du réel. Cette démarche, menée méthodiquement, permet d'opérer sur le monde réel, le transformer pour y imprimer sa marque en le formalisant dans des systèmes d'intelligence artificielle. Ce qui implique au moins trois cas de figure : soit on connaît la réalité sur laquelle on a choisi d'opérer ; soit on en prélève un échantillon (dans l'espace, dans le temps, selon certaines propriétés) ; soit on l'invente à l'image de son rêve.

La confrontation avec le réel est en effet difficile ; elle peut se révéler une épreuve quand augmente le nombre des dimensions qui permettent de la saisir. La philosophie classique notait qu'il est impossible de se représenter un chillogone, polygone convexe régulier de mille côtés (La logique ou l'art de penser, 1662). Prenons l'exemple des centrales de production d'électricité. Comme pour toute installation industrielle, l'appropriation des connaissances s'effectue à un moment du temps, de façon synchronique, avec la construction de l'installation. Mais, de la conception à l'exploitation, les connaissances évoluent et « glissent ». Elles doivent être maîtrisées pour aboutir à une gestion optimale des différentes contraintes de production et d'exploitation. Les connaissances évoluent donc, comme les terminologies chargées d'en rendre compte.

Or, avec le renouvellement des générations, les techniciens et ingénieurs ont une perception dans le temps, à savoir une perception diachronique. Ils ne possèdent pas le schéma de penser la réalité dans l'ensemble de sa complexité, forcés d'assembler des conceptions construites dans des temps différents et sur des années (conception, exploitation, maintenance...).

Selon l'objectif de leur travail, certains choisiront de reconstruire un mode de pensée, d'autres choisiront d'avoir recours à leur propre mémoire. Pour relever un compteur, il n'est pas nécessaire de savoir comment ce compteur a été conçu. En revanche, en cas de défaillance du compteur, il est préférable de savoir identifier la défaillance, voire de la corriger. À mi-chemin entre le moyen de penser et le moyen de se souvenir ont été développés des langages et des modèles de partage, d'échange des connaissances. Ces mo-

dèles sont adaptés aux cas à traiter : les langages Modelica ou UML en sont des exemples. Outils de formalisation, ils ont comme caractéristique de partager un certain implicite, car ils sélectionnent sur le monde réel des propriétés nécessaires aux calculs. L'un des prismes utilisés est celui des représentations symboliques telles que les classes. Ces classes porteuses d'implicites, et dont le sens peut varier d'un métier à l'autre, sont très utilisées. Les relations logiques qui leur sont attachées (est un, est associé à) sont également porteuses d'un sens variable, caché sous une évidence manifeste. Ils manipulent des termes qui « glissent » avec les métiers et avec le temps.

Face au monde concret et aux réalités qu'on en peut décrire, certains de ces modèles ne résistent pas dans le temps ou dans l'espace. Considérés dans la durée et interprétés de façon diachronique, ils perdent leurs évidences d'interprétation initiale.

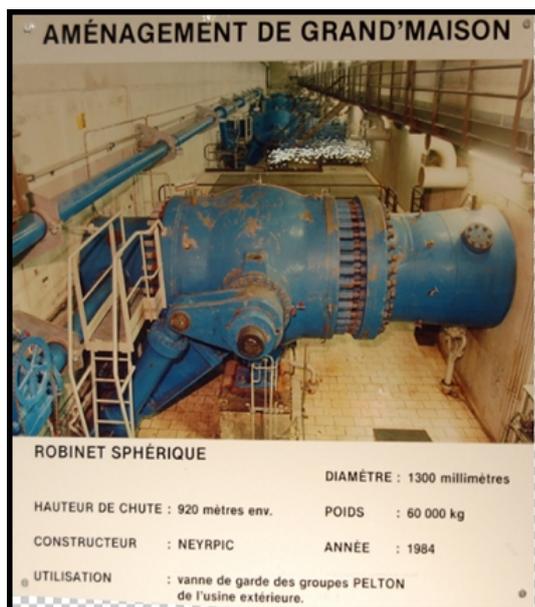
Or, la virtualisation du réel, l'avancée progressive vers l'usine numérique, obligent à resynchroniser les connaissances, donc les modes de pensée. Prenons l'exemple de la gestion des pièces de rechange. D'une gestion de proximité où, « en regardant le libellé, on comprenait ce qu'était la pièce, sinon on passait un coup de fil », on est passé, en quelques années, à une gestion dématérialisée où l'on se demande « comment appeler une pièce pour que tout le monde comprenne exactement ce dont il s'agit ».

C'est bien là un modèle d'échange qui se construit « pour que tout le monde comprenne ». Tout le monde : l'ingénieur qui spécifie la pièce nécessaire, l'acheteur qui la commande, le distributeur qui la délivre, le fabricant qui la construit et l'exploitant qui — in fine — la maintient ou la change. Les pièces de rechange posent des problèmes particuliers de ce point de vue. Si l'on parle par exemple de robinet, on doit comprendre que robinet désigne généralement une vanne, encore qu'il existe des robinets-vannes.

Aussi, l'idée d'ordonner le réel pour le comprendre et le pérenniser doit se fonder sur un modèle formel. Ce modèle a vocation à être universel, non ambigu et attaché à des relations logiques ou ontologiques. Certains entendront

## LA DESCRIPTION DU RÉEL, UN PREMIER PAS VERS L'USINE NUMÉRIQUE

par là un modèle de représentation formelle, basé sur une logique que l'on peut opérationnaliser. Or, rien de garanti que ce modèle formel traduise quelque chose qui ait du sens. Nous revenons donc vers le moyen de penser le monde concret, qui doit se traduire par des unités de pensée : des concepts. Et par des relations qui ne peuvent jamais se préjuger d'avance. Les logiques concrètes sont souvent plus compliquées que nous voulons l'admettre. Mais elles sont essentielles, sous peine de nous faire plonger dans le piège des langues, monde de l'ambiguïté et du quiproquo.



### Panneau d'information de l'usine hydraulique de Grand'Maison, avant remise en peinture

La terminologie s'est développée comme science depuis quelques années pour essayer de remédier à l'imperfection des langues et à la difficulté de transposer de façon rigoureuse et non ambiguë les connaissances d'une langue à l'autre. La démarche de la terminologie consiste à partir des concepts pour remonter aux objets auxquels ils renvoient et aux signes qui, dans chacune des langues, permet de nommer ces objets. La logique est, dans ce cadre, d'un grand apport. Par exemple, les relations génériques (genre/espèce et espèce/genre), les relations partitives (partie/tout et tout/partie) et les relations associatives (notamment relations dans le temps et l'espace), permettent de situer et de fixer des arbres conceptuels. Ces arbres de concepts ou arborescences forment des cartes de la connaissance très précis, qui permettent de situer dans chaque langue comment sont nommés ces concepts. Ce sont de véritables cartes linguistiques, fondées sur une description des relations entre les concepts, donc sur l'organisation des connaissances d'un domaine. La science nou-

velle que représente l'ontologie, qui organise ces connaissances pour leur formalisation en machine, puise directement dans la démarche terminologique (Société française de terminologie, Terminologie et ontologie : description du réel, 2007).

Si nous revenons aux centrales de production d'électricité, les pièces de ces centrales sont de nature et de taille hors du commun. Il en va de même pour leur nombre : des milliers de joints différents, qui portent des désignations comme bague, anneau, ring, qui ont leur signification et leur histoire propre, et cela, pour chacune des centrales. L'une des solutions est donc de préserver les savoirs métiers dans un modèle globalement signifiant et de les verser dans ce que nous devons appeler la « mémoire » de l'entreprise. Cette mémoire active, nécessaire pour toute opération à effectuer, fait partie de son patrimoine.

Son exploitation automatique par des ordinateurs n'a de sens que si cette modélisation du réel est elle-même signifiante. Une exploitation par des programmes dits « intelligents » doit se poser cette question avant tout. Outre son efficacité immédiate, cette capacité de signification autorise la réexploitation de ces modèles par d'autres applications, pour d'autres utilisations qui verront le jour avec le temps, de façon diachronique. Le contexte d'une organisation étendue, mondialisée, multilingue et multiculturelle, pose ces enjeux comme un préalable pour se comprendre, partager et innover ensemble.

### ÉLÉMENTS BIBLIOGRAPHIQUES

- Aristote, Organon, I Catégories, II De l'interprétation, traduit par J. Tricot, Vrin, Paris, 1997, 153 p.
- Aristote, Organon IV, Les seconds analytiques, traduction nouvelle et notes par J. Tricot, col. Bibliothèque des textes philosophiques, Vrin, Paris, 1979, 247 p.
- Aristote, Organon V, Les topiques, traduction nouvelle et notes par J. Tricot, col. Bibliothèque des textes philosophiques, Vrin, Paris, 1984, 368 p.
- Arnauld (Antoine) et Nicole (Pierre), La logique ou l'art de penser, Gallimard, col. Tel, Paris, 1992 [1662], 404 p.
- AUSSENAC-GILLES (N.), SOERGEL (D.), Text analysis for ontology and terminology engineering, Applied Ontology, n° 1, 2005, pp. 35-46.
- Bentham (Jeremy), De l'ontologie, Le Seuil, Col. Points-Essais, Paris, 1997, [1814, 1841], 287 p.
- Benveniste (Émile), Problèmes de linguistique générale, col. Bibliothèque des sciences humaines, NRF, Éditions Gallimard, Paris, 1974, 2 volumes.
- Candel (Danielle) et Gaudin (François), (dir.), Aspects diachroniques du vocabulaire, Publications des Universités de Rouen et du Havre, Mont Saint-Aignan, 2006, 267 p.
- Cassirer (Ernst), La philosophie des formes symboliques,

## LA DESCRIPTION DU RÉEL, UN PREMIER PAS VERS L'USINE NUMÉRIQUE

- Les Éditions de Minuit, Paris, 1972 [1923], 2 tomes : 1. Le langage, 358 p. ; 2 La pensée mythique, 344 p.
- Cottez (Henri), Dictionnaire des structures du vocabulaire savant, col. Les usuels du Robert, Paris, 1992, 515 p.
  - Cruse (D. Alan), Meaning in Language, An Introduction to Semantics and Pragmatics, Oxford Linguistics, Oxford University Press, Oxford, 2000, 424 p.
  - Depecker (Loïc), "L'inventivité terminologique", Le livre de l'année, édition 1996, Paris, Larousse, pp. 349-351.
  - Depecker (Loïc), Dictionnaire du français des métiers, Adorables jargons, col. Point-virgule, Seuil, Paris, 1995, 350 p.
  - Depecker (Loïc), L'invention de la langue, Le choix des mots nouveaux, Larousse/Armand Colin, Paris, 2001, 720 p.
  - Depecker (Loïc), Entre signe et concept : éléments de terminologie générale, Presses de la Sorbonne nouvelle, Paris, 2002, 200 p.
  - Depecker L., (dir.), La terminologie : nature et enjeux, Langages, n° 157, Larousse, Paris, mars 2005, 128 p.
  - Depecker (Loïc), Comprendre Saussure, Armand Colin, Paris, 2009, 192 p.
  - Dikikidiri (Marcel) (dir.), Le vocabulaire scientifique dans les langues africaines, Pour une approche culturelle de la terminologie, Karthala, 2008, Paris, 299 p.
  - Dourgnon-Hanoune (A.), Mercier-Laurent (E.), Roche (C.), How to value and transmit nuclear industry long term Knowledge, RCIS, Miami, USA, 2005
  - Dourgnon-Hanoune (A.), Dang (T.), Dissert (B.), Reguigui (S.), A Framework for Knowledge Management of I&C using a CMS with Ontology extension, IEEE/INCOM, Clermont-Ferrand, 2006
  - Dourgnon-Hanoune (A.), Dang (T.), Salaün (P.), Bouthors (V.), An ontology for I&C knowledge using trees of Porphyry, IEEE/INDIN, Osaka, Japon, 2010
  - du Château (S.) : Simplicius — système d'aide au management des connaissances dans le domaine du patrimoine culturel, thèse Université Lyon 3, 2010.
  - EDF, Département systèmes d'information et de documentation, Thesaurus français-anglais, tome 1, Liste alphabétique permutée, 1997, 565 p. ; tome 2, Liste par champ sémantique/Schémas fléchés, Clamart, 1997, sp.
  - Foucault (Michel), Les mots et les choses, col. Bibliothèque des sciences humaines, NRF, Gallimard, Paris, 1966, 400 p.
  - Granger (Gilles Gaston), Langages et épistémologie, Klincksieck, Paris, 1979, 226 p.
  - GRÜBER (T.), A Translation Approach to Portable Ontology Specifications, Appeared in Knowledge Acquisition, 5(2) :199-220, 1993.
  - Guilbert (Louis), La créativité lexicale, Larousse, Paris, 1975, 285 p.
  - Guyton de Morveau (L.B.), Lavoisier (A.L.), Berthollet (C.L.) et de Fourcroy (A.F.), Méthode de nomenclature chimique, col. Sources du savoir, Éditions du Seuil, Paris, 1994 [1787], 252 p.
  - ISO, Norme internationale ISO 704, Travail terminologique-Principes et méthodes (français et anglais), Afnor, 3e édition, décembre 2009, 65 p. (1ère édition 1990, 2e édition 2000).
  - ISO, Norme internationale ISO 860, Travaux terminologiques-harmonisation des notions et des termes, Afnor, 2e édition, mars 2008, 16 p. (1ère édition novembre 1997, 7 p.)
  - ISO, Norme internationale ISO 1087, Travaux terminologiques Vocabulaire, Partie 1 : Théorie et application, (français et anglais), Afnor, 3e édition février 2001, 42 p. (1ère édition 1990, 2e édition 1998).
  - ISO, Norme internationale ISO 15188, Lignes directrices pour la gestion de projets de normalisation terminologique, Afnor, octobre 2001, 16 p.
  - Leibniz (Gottfried Wilhelm), Nouveaux essais sur l'entendement humain, Garnier Flammarion, Paris, 1966 [1765], 499 p.
  - Office de la langue française, Interventions sociolinguistiques et pratiques langagières, L'Office de la langue française de 1961 à 2001, Terminogramme, Hors-série 2001, n° 101-102, Les Publications du Québec, Montréal, 2002, 192 p.
  - Platon, Cratyle, Les Belles lettres, col. Guillaume Budé, Paris, 1961, 138 p.
  - Pottier (Bernard), Sémantique générale, PUF, Paris, 1992, 237 p.
  - Pottier (Bernard), Théorie et analyse en linguistique, col. Hachette Supérieur, Hachette, Paris, 1992, 240 p.
  - Quemada (Bernard), "Technique et langage", in Histoire des techniques, col. Encyclopédie de la Pléiade, Éditions Gallimard, Paris, 1978, pp. 1146-1240.
  - Rastier (François), Sémantique et recherches cognitives, col. Formes sémiotiques, PUF, Paris, 1991, 262 p.
  - Rey (Alain), Le lexique : images et modèles du dictionnaire à la lexicologie, Armand Colin, Paris, 1977, 307 p.
  - Rey (Alain), La terminologie noms et notions, col. Que sais-je ?, n° 178, PUF, 2e édition corrigée, 1992.
  - Rey (Alain), Encyclopédies et dictionnaires, col. Que sais-je ?, PUF, Paris, 1982, 127 p.
  - Rey (Alain), De l'artisanat des dictionnaires à une science du mot, Images et modèles, Armand Colin, Paris, 2008, 303 p.
  - Savatovsky (Dan) et Candel (Danielle) (dir.), Genèses de la terminologie contemporaine (sources et réception), Langages, n° 168, Larousse, Paris, décembre 2007, 116 p.
  - SOWA (John F.), Knowledge Representation, Brooks/Cole, 2000.

# Les "processus coactivés" et la nouvelle maîtrise du monde

Par Jean-Paul Baquiast et Christophe Jacquemin

La planète semble être entrée depuis quelques siècles dans une nouvelle ère géologique marquée par l'empreinte omniprésente des humains sur les phénomènes naturels. Ce serait l'anthropocène. Pour notre part, nous avons suggéré(1) qu'il valait mieux employer ici le terme d'anthropotechnocène, tout au moins pour désigner l'évolution de la Terre depuis quelques décennies. Par ce terme, nous postulons que cette évolution est de plus en plus déterminée par un développement exponentiel des technologies associées aux humains dans ce que nous avons nommé les "systèmes anthropotechniques". Nous proposons ici d'apprécier la pertinence de cette hypothèse en introduisant le concept de "processus coactivés". Il illustre la prise de pouvoir de plus en plus marquée des technologies en réseau sur l'humain.

## Comment définir les "processus coactivés" ?

Ce concept décrit la façon dont, dans un domaine donné, des systèmes informatiques et robotiques en réseau, que nous nommerons des agents, échangent en permanence les informations résultant de leur activité. Il résulte de ces échanges que l'action de chacun de ces agents peut s'enrichir et évoluer en fonction de l'action des autres. Il faut alors noter que le déploiement d'un grand nombre de processus coactivés dans un nombre croissant de domaines et de champs d'activité fait apparaître un système global de coactivations réciproques intégrant les communications informationnelles et les actions physiques de l'ensemble des agents.

Ce système devient un système-méta (une sorte de superorganisme). Dans un premier temps, il acquiert la capacité de prendre des décisions locales de façon autonome puis, très vite, celle d'opérer pour son propre compte. Il se dote en effet dans le cours de sa croissance de l'équivalent de "pulsions fondamentales" qui se transforment en intentions dictant elles-mêmes des comportements globaux. La sélection darwinienne opère à tous niveaux dans ce milieu

très comparable au milieu biologique pour ne conserver que les acquis bénéficiant à la compétitivité du système-méta confronté à d'autres systèmes semblables ou différents.

On verra ainsi "émerger" ou s'auto-construire au sein du système-méta une couche haute dotée de l'aptitude à agir intentionnellement sur toutes les informations produites par les agents et par conséquent sur toutes les actions de ceux-ci. Cette couche fera l'acquisition de ce que l'on pourra nommer - en utilisant les termes de la psychologie classique - une capacité à penser, c'est-à-dire à utiliser les résultats de ses observations pour la planification de ses diverses actions. Il s'agira donc d'un système devenant spontanément auto-adaptatif et auto-évolutif.

A partir d'un certain niveau de complexité, il sera difficile en théorie de distinguer de tels systèmes des systèmes vivants, y compris de ceux se définissant eux-mêmes comme «humains» c'est-à-dire dotés de capacités dépassant celles des animaux et des ordinateurs. En pratique cependant, ils pourront montrer des performances dépassant très largement, dans leur champ d'action, celles des humains associés à leur fonctionnement.

C'est ce qui commence à se produire dans les sociétés dites technologiques. Des systèmes globaux se sont mis en place dans certains secteurs. Ils intègrent tout ce qui est calculé par processeur sur quelque système communicant que ce soit, avec simultanément pour objectif et pour résultat de les unifier et de contrôler l'ensemble des informations produites ou échangées. On voit se généraliser des applications ou plus exactement des fonctions autonomes. Elles sont liées dans un premier temps au médium de communication et visent d'abord la supervision, puis ensuite la commande de l'activité des agents. Leur présence et leurs effets sont peu observables et moins encore pilotables par des opérateurs humains car les processus coactivés correspondant s'effectuent beaucoup trop vite et en trop grand nombre pour être compris et analysés à l'échelle humaine. Les ordinateurs les plus puissants existant actuellement — à supposer que ces tâches leur soient confiées - n'en seraient pas davantage capables, au moins dans les délais re-

## LES "PROCESSUS COACTIVÉS" ET LA NOUVELLE MAÎTRISE DU MONDE

quis (moins de la milliseconde) pour des réactions éventuelles.

### Quelques exemples de processus coactivés

Les exemples choisis ici ne tiennent pas de la science fiction mais s'inspirent d'observations que l'on peut obtenir en étudiant les domaines où se sont mis en place de tels processus coactivés. Il ne s'agit pas de domaines relevant de l'expérimentation en laboratoire et concernant des secteurs vitaux pour la survie des sociétés contemporaines. Ils impliquent d'ores et déjà la vie ou la mort de milliers de personnes, mais surtout des pertes et des profits à la hauteur de milliers de milliards de dollars, bénéficiant à quelques uns et maintenant des catégories sociales entières dans le sous-développement. C'est que nous allons essayer de montrer avec ces quelques exemples.

#### Les places de marché électroniques

Depuis plus de vingt ans, les Bourses mondiales - où se négocient les valeurs financières et les marchandises - ont été informatisées et mises en réseau. C'est ce phénomène qui a été le principal facteur de ce que l'on nomme la mondialisation financière et qui a soutenu l'idéologie politique dite du néo-libéralisme, selon laquelle le bon fonctionnement de ce système global imposait la disparition des contraintes réglementaires d'origine gouvernementale ou à vocation protectionniste.

Les acheteurs et vendeurs opérant sur ce marché mondial restent en principe des individus divers et variés. En fait, il s'agit de grands organismes, principalement les banques et fonds collecteurs d'épargne. Au sein de ces organismes interviennent des équipes spécialisées, composées de ce que l'on nomme les «traders». Ces derniers sont très bien rémunérés parce que leur expertise peut faire perdre ou gagner en quelques secondes des sommes considérables, aux épargnants et prêteurs comme aux banques eux-mêmes. Mais on découvre aujourd'hui que les vrais «traders», ceux qui déterminent l'évolution des taux, sont de moins en moins des humains mais des algorithmes.

Un trader humain peut acheter 1000 actions de telle firme le jeudi matin au cours de 20 euros l'action et les vendre le jeudi soir au cours de 21 euros, réalisant un bénéfice de 1000 euros. Cependant, si le cours de l'action est à un même instant de 19,28 à Londres et de 19,29 à New York, mais passe un dixième de seconde plus tard respectivement à 19,29 et 19,28, acheter à Londres pour vendre à New York ou réciproquement en cas de renversement des cours de-

vient impossible sans l'intervention de ces algorithmes informatiques.

Comment opère un trader humain? Il recueille et traite dans le minimum de temps les informations sur l'état de l'économie, des entreprises, des tendances politiques et toutes données susceptibles de se répercuter sur les cours. S'il apprend par exemple que tel grand laboratoire éprouve quelques difficultés avec l'un de ses médicaments, il en déduit que l'action de ce laboratoire va baisser et en tire les conséquences, en matière d'achat ou de vente.

Signalons dans ce paysage que le Dow Jones, leader mondial dans l'information économique et boursière, a lancé un nouveau service nommé Lexicon. Ce dernier envoie des informations en temps réel aux investisseurs professionnels. Mais ceux-ci ne sont pas des humains, ce sont des algorithmes, les mêmes qui décident des opérations d'achat-vente. L'information dont ils ont besoin n'est pas qualitative mais numérique. Lexicon traduit pour eux en temps réels les informations qualitatives collectées par le Dow Jones et les transforme en données numériques compréhensibles par les algorithmes en charge des décisions d'investissement.

Ces derniers peuvent à leur tour les répercuter en les modifiant au besoin sur les algorithmes utilisés par d'autres investisseurs. Lexicon participe ainsi avec de nouveaux puissants moyens à la transformation du réseau mondial des places de marché en un vaste ensemble de processus coactivés capable de s'informer de l'actualité générale, d'en extraire des tendances et de s'en servir pour vendre ou acheter. Ce sont ces processus qui prennent désormais les décisions et non plus les humains. Il s'agit de ce que l'on nomme le computer-aided high-frequency trading. Il compte aujourd'hui environ 70% des transactions s'effectuant à Wall Street, et par conséquent dans le reste de la «planète finance».

Les traders à haute fréquence («high frequency traders») dits aussi «flash traders» procèdent à des milliers de transaction par seconde, à une telle échelle qu'ils peuvent perdre ou gagner des fortunes sur une variation de cours de quelques centimes. D'autres algorithmes sont plus lents mais plus sophistiqués. Ils recherchent les investissements négligés par la majorité des autres. Le système global en résultant est plus efficace et rapide qu'aucun esprit humain, même assisté d'un ordinateur. Mais en contrepartie, il est plus difficile à comprendre, prédire et réguler. Les algorithmes coactivés entretiennent entre eux une sorte de conversation par laquelle chacun d'eux répond à la milliseconde aux propos des autres. Des règles mathématiques prédominent alors, éliminant l'émotion et les erreurs de jugement.

## LES "PROCESSUS COACTIVÉS" ET LA NOUVELLE MAÎTRISE DU MONDE

Pendant des phénomènes inattendus de feed-back peuvent survenir et provoquer des catastrophes (au sens quasi mathématique du mot) s'étendant à l'échelle du monde en quelques heures. C'est ainsi que surviennent régulièrement des baisses soit ponctuelles soient généralisées dans des délais très courts. Nombre d'investisseurs humains en sortent ruinés. Certains au contraire savent profiter de l'événement. Dans certains cas, le système global peut s'effondrer, et c'est la crise mondiale. Les "bons" traders humains, ceux qui continuent à être très bien rémunérés, sont ceux qui ont compris comment commercer avec les algorithmes. Ils savent se situer à la limite de la catastrophe. Mais certains disent qu'ils sont eux-mêmes devenus des algorithmes.

S'agit-il de phénomènes marginaux, au regard de ce que l'on nomme l'économie réelle? Le livre de François Morin (Le nouveau mur de l'argent, essai sur la finance globalisée, Ed. du Seuil, 2006) est à ce sujet éclairant. Il précise que le PIB de la planète Terre, celui qui seul importe car il exprime l'économie réelle, ne représente que 3% des échanges financiers mondiaux. On peut imaginer le moment où un système-méta conscient totalement distribué sur le Web, un "méta-trader artificiel" opérant à la micro-seconde, prendra le contrôle total de la finance. Que restera-t-il alors des entreprises, du travail humain, des valeurs humaines fondées sur le travail?

### Le champ de bataille

Après avoir mené plusieurs décennies de suite des opérations militaires se traduisant par une débauche de puissants moyens matériels, les Etats-Unis se sont trouvés mis en échec par des «insurgés» faiblement armés. Ils sont aujourd'hui confrontés à des guerres dites du faible au fort (ou guerres de 4e génération) où les programmes lourds tel que celui de l'avion de combat dit du XXIe siècle, le F35 Joint Strike Fighter de Lockheed Martin, ne suffiront pas à protéger les militaires engagés sur le terrain. Le Pentagone en a conclu que face à des ennemis connaissant bien ce terrain et disposant de l'appui de la population, il lui fallait des armes capables d'augmenter de façon écrasante les capacités sensorielles, physiques et cognitives du simple combattant. Les stratèges ont prévenu que le besoin sera le même dans les probables futurs combats de rue qui opposeront sur le sol national l'armée fédérale ou la garde nationale à des foules révoltées. Nous avons évoqué précédemment certaines de ces armes. Le système SCENICC en constitue une nouvelle version, particulièrement démonstrative.

Il s'agit avec SCENICC de doter le combattant d'une vision à 360°, disposant d'une portée d'au moins 1 km et suffisamment discriminante pour faire la différence entre la canne d'un simple berger et l'AK 47 d'un «insurgé» - étant admis qu'il n'était plus diplomatiquement possible de per-

mettre à chaque fantassin ami d'éliminer a priori tous les civils pouvant être des combattants dissimulés dans un rayon de 1 km.

C'est dans ce but que l'agence de recherche du Pentagone, la Darpa vient de lancer un appel d'offres pour la réalisation d'un système baptisé Soldier Centric Imaging via Computational Cameras effort, ou SCENICC. Le système disposera d'un ensemble de caméras ultra-légères, montées sur le casque mais néanmoins capables de donner une vision tout azimut et en 3D. Le soldat pourra littéralement voir derrière lui, zoomer sur les points suspects, disposer d'une vision binoculaire stéréoscopique — le tout en gardant les mains libres et la possibilité de communication verbale.

Pour commander l'ensemble, le système sera doté d'une unité centrale intelligente, capable de mémoriser des instructions, le souvenir de scènes antérieures et tout ce dont peut avoir besoin le combattant pris dans le feu du combat. Cette unité centrale sera connectée à une arme portative puissante, capable d'«acquérir» les objectifs, suivre les trajectoires des projectiles et évaluer leurs impacts. Il s'agira finalement de mettre en place une "aire de compétences", véritablement post-humaines, dite "Full Sphere Awareness". Le tout ne devra pas peser plus de 700 g, et disposer d'une batterie de grande capacité, éventuellement rechargeable par le moyen d'un capteur solaire intégré au battle-dress.

Cependant c'est la mise en réseau qui fait la principale force des combattants modernes. Chaque soldat équipé du système SCENICC se comportera comme un noeud (node) au sein d'un réseau reliant chacun d'eux à tous les autres et à divers dispositifs de cartographie et de modélisation du champ de bataille alimentés par des capteurs terrestres ou aériens de type drone. Ce sera un véritable espace virtuel de combat commun au sein duquel chaque combattant sera un élément non pas passif mais proactif. L'ensemble aura nom NETT WARRIOR.

Ce programme devrait associer des industriels tels que Raytheon, Rockwell Collins et General Dynamics. Il ne sera pas pleinement opérationnel avant 3 ou 4 ans, mais des éléments utilisables devraient être livrés dans les prochains mois. Nous n'avons pas d'informations précises sur son coût.

Le champ de bataille ne sera pas seulement occupé par des combattants humains équipés de tels systèmes. Il comportera aussi — il comporte déjà — une grande variété de matériels autonomes eux-aussi dotés de moyens d'observation, de transmission et d'ouverture de feu. Nous pouvons évoquer par exemple les systèmes de type MAARS (Modular Advanced Armed Robotic System). Dans ces catégories on trouvera des engins blindés terrestres de toutes tailles, des

## LES "PROCESSUS COACTIVÉS" ET LA NOUVELLE MAÎTRISE DU MONDE

appareils aériens sans pilote ou drones eux aussi de toutes tailles et capables de multiples missions différentes. Citons le charmant (?) petit Nano-hummingbird ou robot oiseau mouche de la société Aerovironment capable d'entrer dans un local par une fenêtre et d'en communiquer les coordonnées à un missile air-sol. A plus haute altitude seront positionnés des avions stratosphériques robotisés tels que le Global Observer, capable de vols prolongés pour un coût relativement faible. Rappelons que depuis longtemps les satellites militaires en orbite étendent à l'ensemble des terres et des mers la «Global awareness» nécessaire au système-méta militaire ainsi mis en place.

Rappelons un point important, concernant ces systèmes et leurs semblables. Les chercheurs et les laboratoires qui s'y consacrent sont tenus par des accords de confidentialité stricts. Ils ne peuvent pas publier et faire discuter librement leurs résultats. La censure a toujours existé, mais, au prétexte de la lutte anti-terrorisme, elle semble s'aggraver. Quand le public entend mentionner certaines de ces recherches, c'est en conséquence d'une politique de communication bien contrôlée. Il s'agit généralement de décourager des recherches analogues pouvant être financées par les laboratoires civils. Si la Darpa le fait, à quoi bon faire la même chose en moins bien? Il s'agit aussi de recruter des chercheurs à l'extérieur, attirés par les opportunités de carrière pouvant en découler, dès qu'ils auront accepté de perdre leur indépendance.

Mais en quoi la mise en réseau et la coactivation de tels systèmes produira-t-elle une intelligence et une volonté dont les décisions pourraient s'imposer à celles des chefs hiérarchiques, des Etats-majors et des gouvernements ayant commandité leur production et leurs déploiements?

On peut répondre à cela de deux façons. En ce qui concerne le détail des opérations, il apparaît de plus en plus que la Net Centric Warfare se traduit par des décisions à conséquences létales prises sur le mode automatique, sans intervention humaine, que les diplomates ont par la suite beaucoup de mal à faire excuser. Il s'agit notamment des ouvertures de feu a priori ou préventives, touchant parfois des éléments «amis». On a tendance à dire que les opérateurs informatiques sont moins susceptibles d'erreurs que les opérateurs humains. Mais lorsque des dizaines d'opérateurs informatiques se coactivent, des phénomènes imprévisibles apparaissent [cf, ci-dessus l'exemple des systèmes boursiers].

En ce qui concerne, à une tout autre échelle, l'engagement d'opérations géostratégiques telle que le fut la décision d'envahir l'Irak, plus personne ne nie aujourd'hui, y compris au sein de l'establishment militaire, que le complexe militaro-industriel américain a dicté, sous la pres-

sion d'intérêts très puissants mais ne s'incarnant pas particulièrement dans la personne de responsables individualisés, des décisions dont les suites contribuent actuellement à la perte d'influence des Etats-Unis. Ceux-ci ne sont pas les premiers à souffrir de tels processus coactivés. L'URSS a perdu la compétition qui l'opposait à ces derniers pour les mêmes raisons. Bien qu'encore dans l'enfance à l'époque, l'informatisation des processus de décision stratégique a joué un rôle non négligeable en ce sens, dépossédant les généraux soviétiques et le Kremlin de la compétence «humaine» qui leur avait permis de résister auparavant à la puissance allemande.

### Les frontières terrestres

Il s'agit déjà, dans certains pays, de zones de conflits de plus en plus violents. S'y affrontent les puissances voulant se protéger d'une immigration non régulée et des populations chassées par la misère et prêtes à tout dans l'espoir d'une vie meilleure dans les pays riches. Ces populations sont souvent la victime de mafias qui s'engagent à les faire passer contre des sommes importantes, quitte à les abandonner en cas de difficultés. Mais viendra un temps où ce ne seront plus quelques dizaines de milliers de clandestins qui voudront entrer. Il s'agira de millions ou dizaines de millions d'hommes, victimes des désastres climatiques et économiques prévus pour les prochaines décennies. Si les pays (encore) riches persistent à se défendre de ces invasions, la frontière deviendra un champ de bataille, qu'il s'agisse des frontières terrestres ou maritimes.

Traditionnellement, la garde des frontières était confiée à des administrations spécialisées, renforcées à l'occasion par l'armée ou la marine. Mais devant l'accroissement permanent du nombre des clandestins et de leur volonté de passer coûte que coûte, les moyens en hommes que peuvent affecter les pays riches à la défense de leurs frontières atteignent vite des limites. Comme sur le champ de bataille précédemment décrit, on verra de plus en plus les humains relayés par des systèmes de haute technologie. Ceux-ci ont l'avantage d'être disponibles en permanence, d'être relativement économiques et, si l'on peut dire, "de ne pas faire de sentiments".

N'abordons pas ici la question de la protection des frontières maritimes qui relève encore de moyens de dissuasion classiques, compte tenu de la difficulté que rencontrent les migrants à se doter des embarcations nécessaires à des traversées de quelque durée. Les frontières terrestres sont beaucoup plus poreuses. D'où la nécessité pour les pays riches de faire appel aux nouvelles technologies.

On peut citer en premier lieu les «murs intelligents». Le plus "ambitieux" de ceux-ci est la grande muraille que les Etats-Unis sont en train d'établir entre eux et le Mexique. L'objectif est d'empêcher les incursions non seulement des

## LES "PROCESSUS COACTIVÉS" ET LA NOUVELLE MAÎTRISE DU MONDE

Mexicains mais de tous les latino-américains attirés par la prospérité du Nord. A plus petite échelle, mais depuis plus longtemps, Israël a établi de tels murs pour délimiter certains implantations et les protéger d'intrusions en provenance de la Palestine ou des pays arabes. L'Espagne protège par un mur ses deux enclaves de Ceuta et Melilla en territoire marocain. Aujourd'hui, la Grèce demande qu'un mur intelligent soit édifié sur la partie de sa frontière terrestre avec la Turquie qui n'est pas naturellement défendue par le fleuve Eyros.

Sur la frontière américano-mexicaine, le mur classique, complété de fossés et barbelés, patrouillé par de trop peu nombreux garde-frontières en 4/4, s'était révélé bien insuffisant. Violé en permanence, il n'avait qu'une utilité de principe. Les projets actuels consistent donc à doubler la muraille physique par des «senseurs» répartis très en amont (à l'extérieur) et capables en principe de distinguer et identifier tous les signes pouvant laisser penser à une tentative d'intrusion. Dès que le risque s'en précise, des robots ayant l'allure de petits chars d'assaut équipés de caméras identifient les intrus et s'efforcent de les décourager d'insister. Si besoin est, un drone (aujourd'hui de type Predator) intervient à son tour. Tout ceci laisse le temps aux gardes-frontières humains de réagir. Dans l'avenir, en cas d'invasion massive, des unités militaires spéciales, ou fournies par des sociétés civiles de sécurité ad hoc (véritables «chemises brunes» selon les détracteurs américains de ces procédés) prendront les affaires en mains. Tout laisse penser qu'ils se comporteront dans cette tâche avec la brutalité de véritables robots.

Ainsi, tant en amont qu'en aval du mur, des espaces considérables seront sécurisés et militarisés. Comme il s'agit en général de zones désertiques, les protestations ne seront pas trop fortes, mais il n'en sera pas de même dans d'autres régions plus peuplées.

Le projet américain ainsi décrit, conduit par le US Department of Homeland Security et la filiale de Boeing dite Boeing Intelligence and Security Systems, prend actuellement la forme d'un programme de 8 milliards de dollars. Il s'agit du Security Border Initiative Network ou SBInet. Il comportera des tours de 25 mètres réparties tous les 400 m (à terme sur un mur triple long de 3.000 km). Ces tours seront équipées de caméras optiques et infra-rouge pilotées à distance. Des senseurs magnétiques détecteront les véhicules. De plus les tours disposeront d'un radar de surveillance terrestre capable d'identifier les humains, fourni par les «Israël Aerospace Industries» de Tel-Aviv. Le radar sera complété de capteurs acoustiques et capteurs de vibrations destinés à détecter les voix et les pas, aussi furtifs soient-ils. Ces détecteurs devraient pouvoir opérer dans une zone dite de «early warning» s'étendant à 10 km en profondeur.

Les caméras se dirigeront automatiquement sur les échos suspects. Elles diligenteront chaque fois qu'elles le «jugeront» utile des messages d'alerte vers les patrouilles armées mentionnées ci-dessus.

Ces murs intelligents ne constituent qu'un début. S'y ajoutent déjà, comme sur le champ de bataille, des robots autonomes terrestres capables d'augmenter le pouvoir de surveillance et le cas échéant d'intervenir directement, en appui voire en remplacement des gardes frontières. Ils patrouillent seuls, jusqu'à identifier quelque chose d'anormal. Ils signalent alors la cible (target) aux postes de garde humains. De tels engins sont aussi utilisés pour protéger des lieux sensibles, militaires ou civils, tels que les sites nucléaires.

Ces robots n'opèrent pas encore dans des lieux ouverts, dont ils n'auraient pas appris à connaître les caractéristiques. Ils interviennent le long de murs et d'enceintes bien définies. Mais cela n'empêche pas qu'ils doivent éviter de confondre des objets ou phénomènes normaux, y compris des ombres, avec les catégories d'intrusions qu'ils doivent signaler. Ils sont donc dotés de capteurs et de logiciels d'intelligence artificielle de plus en plus évoluées, capables de s'affiner par retour d'expérience. Lorsqu'ils ont identifié un phénomène anormal, ils alertent le poste de garde qui peut, avant même d'envoyer un agent, observer la cible par les yeux du robot, voire l'interpeller par l'intermédiaire de l'organe vocal dont il est doté.

Les robots patrouilleurs sont aussi équipés d'armes d'intimidation non létales au cas où les personnes interpellées n'obéiraient pas aux injonctions. On envisage sérieusement de les doter dans l'avenir d'armes à feu. Celles-ci cependant n'interviendraient (jusqu'à nouvel ordre) que sur commande de l'opérateur humain. Mais de l'acquisition de la cible jusqu'à l'ouverture autonome du feu, il n'y a qu'un pas. Il faudra compter avec le fait que le superviseur humain sera vite saturé par la multiplication des situations à risques et sera tenté de déléguer ses pouvoirs au système. Celui-ci ne manquera pas d'en tirer profit, apprentissage aidant, pour augmenter les siens.

Le marché est très porteur et beaucoup de laboratoires et d'industriels y investissent pour réaliser des produits de plus en plus performants. Afin d'obtenir des robots susceptibles de s'adapter à des environnements non encore cartographiés directement par eux, ils envisagent notamment d'utiliser les images 3D du type de celles que recueillent les véhicules utilisées dans l'application Google Street View. Ce même Google vient d'ailleurs d'annoncer qu'il a mis au point une voiture sans conducteur capable de se piloter seule avec ces aides à la localisation.

En dehors des véhicules terrestres, le marché demande de plus en plus de drones, capables d'inventorier des es-

## LES "PROCESSUS COACTIVÉS" ET LA NOUVELLE MAÎTRISE DU MONDE

paces beaucoup plus vastes. Les drones de surveillance seront en principe plus petits et moins coûteux que les grands drones militaires tels que le Predator utilisés au Pakistan par l'armée américaine, mais ils fonctionneront sur le même principe.

Parmi les nouveaux produits, on peut par exemple citer :

- le Mobile Detection Assessment Response System de General Dynamics utilisé à titre expérimental par l'US National Nuclear Security Administration ;
- le robot tout terrain réalisé par la compagnie israélienne C-Nius Unmanned Ground Systems ;
- le robot de garde Samsung Techwin SGR-1 utilisé par la Corée du Sud (pour l'instant ce robot n'est pas mobile).

L'exemple américain est repris un peu partout dans le monde. Une conférence relative à la sécurisation des frontières européennes par des systèmes technologiques du type de ceux évoqués ci-dessus s'est tenue en novembre 2009 à Leeds, (UK). L'Union européenne a lancé un programme dit TALOS (Transportable Autonomous Patrol for Land Border Surveillance) associant des partenaires américains (on s'en serait douté). Les Polonais dirigent le projet, par l'intermédiaire du PIAP, Institut de recherche industrielle pour l'automatisation et les mesures de Varsovie. Le consortium regroupe actuellement les représentants de 10 Etats et dispose d'un budget de 10 millions d'euros. A l'avenir, le réseau pourrait être déployé sur toutes les frontières terrestres de l'Europe. Mais à quel coût et comment sera-t-il accepté ? Comment réagiront les pays voisins, notamment la Russie, qui se trouverait ainsi exclue symboliquement de l'espace européen ?

### Perspectives

L'évolution vers un monde qui serait de plus en plus défini par les compétitions entre des systèmes anthropotechniques sous contrôle de ce que nous avons nommé des processus coactivés va-t-elle se poursuivre ? Cette perspective est probable, si l'on considère le poids des pouvoirs qui financent les investissements nécessaires à la mise en place des logiciels, matériels et réseaux servant de support à de tels processus.

Les exemples évoqués dans le présent article sont révélateurs. Mais on pourrait en citer bien d'autres. L'encadré ci-dessous liste les domaines dans lesquels, d'après-nous, les processus coactivés ne vont cesser de se développer (certains étant d'ores-et-déjà à l'oeuvre) :

Nanotechnologie et nouveaux matériaux

- Surveillance par nanocapteurs
- Capteurs utilisant les nanotechnologies moléculaires

– Traitements médicaux personnalisés à base de nanocomposants

– Nanoassembleurs moléculaires répliquants

– Revêtements générant de l'invisibilité

Médecine, Biologie et Biométrie

– Kits portables pour le séquençage complet du génome)

– Petits robots médicaux

– Consultation et soins par internet

– Identification par mesures biométriques non invasives ou basées sur les activités

– Capteurs d'émissions lumineuses utilisant des composants optico-électriques à bas coût

– Implants médicaux intelligents

Robotique

– Senseurs avancés pour robots

– Intelligence artificielle avancée

– Petits robots domestiques ou jouets

– Robots sociaux

– Surveillance utilisant des nuages de micro-robots, ou "insectes robotisés"

Cognition

– Communication de cerveau à cerveau ("radiotélépathie")

– Produits publicitaires destinés à s'interfacer avec le cerveau des clients potentiels

– Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle avancée (fMRI)

– Techniques de détection du mensonge et de la tromperie

– Identification des émotions des blogueurs

– Reconnaissance avancée de la parole

Information and communication technologies

– Internet des objets et intelligence répartie dans les objets

– Déportation des fichiers et calculs sur des serveurs distants

– Recherche par IA des contenus sémantiques au sein de la réalité

– Identification par la voix

– Identification par puces à radio-fréquence (RFID)

– Identification intelligente des plaques minéralogiques

– Publicité ciblant les comportements en ligne

– Identification et localisation des téléphones mobiles, publicités ciblées

– Compteurs intelligents

– Utilisation de données sous-produites par l'activité d'un ordinateur pour en détecter — espionner ses contenus

– Utilisation à l'aide d'outils disponibles sur le marché des signaux produits par une activité quelconque

## LES "PROCESSUS COACTIVÉS" ET LA NOUVELLE MAÎTRISE DU MONDE

pour détecter - espionner les contenus de cette activité

- Systèmes radio pour contrôler la pression des pneus
- Émetteurs sonars pénétrant les murs (STTW)
- Reconnaissance des visages
- Réalité augmentée
- Échanges faisant appel à l'intelligence artificielle

Quelles sont les forces qui s'impliquent dans la généralisation des systèmes-méta que nous avons décrits ? On trouve en premier lieu celles visant sous couvert de défense et de sécurité, à une militarisation de plus en plus complète de l'espace social. Le but de cette militarisation est de conserver aux détenteurs de la richesse et de la puissance, par la force, les avantages qu'ils se sont donnés.

Il s'agit d'une toute petite minorité en nombre, qui se trouvera de plus en plus confrontée à des milliards de défavorisés de toutes sortes et de toutes origines. Ces derniers ne demeureront évidemment pas passifs et feront tout ce qu'ils pourront pour échapper, avec les armes dont ils disposeront, à la domination. Et pour cette petite minorité, il convient donc préventivement de tenir sous contrôle le reste des populations. Il est significatif de voir que pratiquement toutes les recherches en matière de systèmes intelligents pour la défense et la sécurité sont financées par des budgets militaires. Au premier rang de ceux-ci se trouve le budget de la défense américain, lequel est à lui seul dix fois plus important que ceux cumulés des autres États.

Les mêmes minorités ou oligarchies de la richesse et de la puissance tirent leurs pouvoirs de la prédation qu'elles exercent sur les activités productives des milliards de travailleurs qui en contrepartie de leur travail au sein de l'économie réelle gagnent à peine de quoi survivre. Nous avons vu que cette prédation s'exerce presque exclusivement aujourd'hui par le biais de la finance internationale en réseau. Sur les oligarchies d'aujourd'hui, on pourra lire avec intérêt l'ouvrage récent de Hervé Kempf : « L'oligarchie, c'est fini. Vive la démocratie », Seuil 2010

Les grands acteurs au sein de cet univers virtuel, banques, fonds spéculatifs, corporate powers, ont réussi à persuader les travailleurs de la base qu'ils devaient leur abandonner les valeurs ajoutées de leur travail. Périodiquement, des crises artificielles viennent spolier les épargnants de leurs économies afin d'en faire bénéficier les «investisseurs». Pour que ceci soit accepté, il fallait évidemment que les humains à la source de ces techniques de prédation, formes renouvelées de l'esclavage ancien, puissent ne pas être accusés d'en être les organisateurs. La meilleure solution consistait à laisser agir des systèmes-méta anonymes, bien plus imaginatifs d'ailleurs que les humains eux-mêmes pour capter les ressources des travailleurs de la base.

Il se trouve cependant que les processus coactivés que nous avons décrits ne cessent de s'étendre au sein des sociétés, en se coactivant sur des échelles de plus en plus larges. Les humains qui étaient à l'origine de leur mise en place risquent de se trouver désormais dépassés par leurs créatures, lesquelles exerceront le pouvoir à leur place.

On retrouvera modernisé le phénomène décrit par le vieux mythe de l'homme face au Golem. Malheureusement, aussi intelligents qu'ils soient dans les détails, les processus coactivés ne semblent pas capables d'une intelligence globale, prenant notamment en charge un développement équilibré des civilisations au sein d'une planète aux ressources de plus en plus insuffisantes. Les catastrophes évoquées dans le scénario pessimiste de l'ouvrage «Le paradoxe du sapiens», risquent donc de se produire.

N'y aurait-il pas cependant des lueurs d'espoir ?

Les événements politiques récents, un peu partout dans le monde, montrent que les populations de la base peuvent se révolter en masse contre le Système qui les aliène. Des destructions peuvent en découler, du type dit luddiste dans les pays anglo-saxons, où le peuple tentait de détruire les machines. Il s'agirait alors d'une révolte faisant appel à la force brutale.

Ne pourrait-on en imaginer une autre infiniment plus subtile et prometteuse ? Il se trouve que des scientifiques ont essayé avec succès, depuis déjà quelques années, d'analyser le fonctionnement du cerveau humain incorporé (incorporé dans un corps et dans une société). Or ils ont découvert que ce cerveau fonctionne sur le mode des processus coactivés que nous avons évoqué dans cet article.

Certains chercheurs sont allés plus loin. Ils ont simulé sur des systèmes informatiques, dit massivement multi-agents, le fonctionnement de tels processus. Ils pensent avoir découvert ce faisant bien des points encore obscurs intéressants le travail du cerveau, de l'intelligence et de la conscience, propres à l'homme. Mais dans le même temps et en parallèle, ils ont découvert des points encore obscurs intéressants le fonctionnement des processus informatiques se développant actuellement en aveugle, par exemple sur les réseaux de la finance ou sur ceux du web, évoqués dans cet article.

La grave question politique, posée par les recherches de ces scientifiques, est que le savoir ainsi développé par eux sera inexorablement capté, si aucune précaution n'est prise, par les forces finançant la guerre et la spéculation.

Il y aurait pourtant une solution : adopter la démarche du logiciel libre. Celle-ci, qui est également pratiquée pour le développement de certains robots en Open Source, serait la garantie d'un minimum de démocratisation autour de la connaissance et de la mise en oeuvre d'un des enjeux

## LES "PROCESSUS COACTIVÉS" ET LA NOUVELLE MAÎTRISE DU MONDE

majeurs de notre civilisation technologique, la "conscience artificielle". Il faudrait pour cela que les investissements nécessaires à générer des systèmes opérationnels à partir du modèle proposé par le professeur Alain Cardon, le père d'un de ces projets, bien connu à l'AFIA, ou par d'autres chercheurs qui le relaieraient, soient pris en charge et diffusés au sein de communautés d'utilisateurs suffisamment avertis pour s'impliquer dans l'effort de diffusion démocratique qui s'imposerait.

Nous pensons pour notre part que ce serait la meilleure façon de donner suite aux travaux d'Alain Cardon sur la conscience artificielle. Les lecteurs pourront en juger puisque celui-ci a bien voulu nous confier l'édition de son

dernier ouvrage «Un modèle constructible de système psychique» publié sur le mode de la licence publique Creative Commons. Il ne s'agit pas d'un ouvrage facile, mais le sujet est loin de l'être. Nous encourageons tous les lecteurs de cet article à le lire.

Ouvrage téléchargeable au format pdf., <http://www.admiroutes.asso.fr/larevue/2011/114/livrecardon.pdf>

---

(1) Voir : "Le paradoxe du Sapiens — Etres technologiques et catastrophes annoncées", Jean-Paul Baquiast, éditions Jean-Paul Bayol, 2010)

# Quand l'intelligence vient à l'objet

Dominique SCIAMMA

Directeur du Développement et de la Recherche  
STRATE COLLEGE — [ds@stratecollege.fr](mailto:ds@stratecollege.fr)

Il fut un temps où l'IA se confondait avec l'informatique, un temps où l'ordinateur naissant apparaissait comme la plateforme destinée à faire émerger et à porter un modèle définitif de l'intelligence, et donner naissance à des machines qui cesseraient de l'être et qui partageraient à terme ce qui fut l'apanage exclusif de l'humanité : percevoir le monde, le représenter, y faire des plans, prendre des décisions et agir.

Ce temps révolu a donné naissance à la montée en puissance - inexorable et toujours plus rapide - de la numérisation du monde, où l'apparition du PC, des consoles de jeux, de la téléphonie mobile et de l'internet ont été des causes et des effets à la fois.

Cette inondation numérique a dilué la visibilité de l'IA, de son importance, de ses enjeux, même si elle est souvent tapie, discrète mais efficace, dans nos jeux vidéos, nos machines à laver, ou nos logiciels boursiers. Ce faisant, elle habite nos logiciels, contribuant à leur puissance.

La numérisation exponentielle du monde, des organisations, des systèmes, des pratiques quotidiennes a imposé l'idée, chez le grand public comme chez les « experts », que la dématérialisation serait l'horizon digital ultime de l'humanité. Nouveau miroir d'Alice, l'écran serait alors la nouvelle frontière à franchir, derrière lequel toutes les nouvelles expériences se joueraient, et où les enjeux seraient alors des enjeux d'interfaces.

Nous pensons, avec quelques autres, exactement l'inverse. C'est un tsunami numérique qui s'approche, radicalement différent, né d'une nouvelle convergence siglée NBIC. Loin de la dématérialisation, le mariage des nanotechnologies, de la biologie, de l'informatique et des sciences cognitives va permettre les retrouvailles victorieuses de l'espace, de la matière, du corps et du numérique. Elle va aussi remettre en lumière les enjeux, les ambitions, et les promesses de l'IA.

## Des objets vivants

Ubimedia, informatique ubiquitaire, invasive, sans couture ou invisible, les dénominations sont nombreuses, mais la perspective reste la même : un monde où tout moment, toute situation, tout lieu, tout objet mettra en œuvre des

nouveaux matériaux, des télécoms, des puces, du logiciel — et mieux de l'IA. Dans cette optique, le monde va être colonisé par une nouvelle catégorie d'objets, dits « intelligents ».

Nous ne parlons pas ici des trop fameux « objets communicants » et de l'internet des objets, dont les média adorent de buzz words, se sont emparés avec entrain, comme si le fait de communiquer, via l'internet, représentait en soi un saut quantique. Sans nier leur intérêt, ni le fait qu'ils représentent un espace de création et de services, ces objets restent fondamentalement en continuité avec les modèles issus de nos révolutions industrielles successives, et dont l'informatique fut le dernier avatar. Les objets dont nous parlons sont des objets de rupture, qui réenchangent non seulement notre quotidien, mais modifient aussi notre rapport au monde.

Ils seront en rupture, car contrairement à tous les objets jusqu'ici conçus par l'humanité, qui se définissaient par leurs fonctionnalités, ces nouveaux objets se définiront, eux, par leurs comportements. Ces objets seront en effet capables de percevoir leur environnement, de se le représenter, d'y faire des plans, de prendre des décisions et d'agir, reprenant en cela les ambitions initiales de l'IA. Il s'agit d'un changement paradigmatique majeur, tant du point de vue de la conception de ces objets, que de celui de leurs usages, et de la relation au monde qu'ils induisent.

Ces objets, nous proposons de les appeler « Objets vivants » ou encore « Robjets », dans la mesure où d'un côté ils reproduisent les caractéristiques du vivant (percevoir, décider, agir), et où de l'autre ils représentent une généralisation des concepts de la robotique à toutes les catégories d'objets. Car pas un objet de nos quotidiens - du moindre de nos vêtements, de nos accessoires, de nos mobiliers, de nos outils - n'est susceptible de ne pas se métamorphoser demain en Robjet.

Bourrés de capteurs, ils seront capables d'entendre, de voir, de sentir, de mesurer des forces, de revoir des flux d'informations numériques. Dotés de moyens de calcul, ils sauront exploiter les informations et données perçues, et élaborer des décisions. Dotés d'actuateurs — c'est à dire des moyens d'agir véritablement dans et sur le monde — ils

sauront transformer ces décisions en actions aussi diverses que bouger, chauffer, saisir, déplacer, parfumer, changer de couleurs ou de forme. Bon nombre de leur promesses seront tenues par des matériaux et métamatériaux issus des recherches en nanotechnologies. Connectés à des réseaux divers (de proximité, locaux ou globaux), ils sauront non seulement participer et accéder à la puissance du Cloud, mais surtout constituer au travers de ces réseaux des super-systèmes, dont les comportements seront les conséquences émergentes des collaborations entre leurs composants.

De toutes ces nouvelles caractéristiques, cette dernière n'est sans aucun doute pas la moindre. Ce sera la première fois que le système d'objets d'une civilisation humaine pourra potentiellement constituer un réseau d'acteurs interconnectés dotés d'autonomie comportementale, réseau donnant naissance à un « super-Robjet », matérialisant ainsi une émergence comportementale systémique.

### Un nouveau rapport aux objets... et au monde

Le fait que ces objets soient caractérisés par leurs comportements, et non plus par leurs fonctionnalités va changer la nature du rapport entretenu avec les hommes. De fait, les objets étaient jusqu'à présent fonctionnels, et délivraient leurs fonctions au travers d'une manipulation, d'un contrôle. Les objets « numériques » d'aujourd'hui n'échappent pas à cette réalité, et les interfaces représentent les formes les plus sophistiquées de ces contrôles. Les Robjets, quant à eux, mettront à bas ce schéma, pour la bonne et simple raison qu'ils auront l'initiative de l'action, et que les fameuses interfaces, en tant qu'elles sont des outils de contrôle en seront exclues. Le Robjet n'est plus un outil qu'on pilote, mais un acteur qui s'intéresse à nous, et cherche à délivrer ses services sans que nous ayons à lui demander.

Nous allons donc rentrer en relation avec ces Robjets, et ce sera la qualité de cette relation qui déterminera la qualité de l'expérience de l'objet. Ce rééquilibrage du rapport à l'objet, passant du contrôle à la relation, aura des conséquences bien au delà du service délivré et du confort offert. C'est en effet la nature même du monde qui sera amenée à être reconsidérée. Le partager, pour la première fois, avec des objets que nous aurons créés, capables de suffisamment d'intelligence pour anticiper nos besoins, voire nos désirs, et chercher à les satisfaire, pose la question philosophique majeure de l'intelligence humaine, et de sa spécificité peut-être (sans doute ?) illusoire.

En créant à terme ces objets, et en partageant le monde avec ce qui ressemblera furieusement à des pairs, l'homme produira alors probablement une de ses dernières blessures narcissiques.

### Qui conçoit ses objets et comment ?

On l'aura compris, ces objets sont de l'IA matérialisée venant clore l'invasion numérique du monde, commencé silencieusement il y a 60 ans dans des laboratoires militaires, que l'apparition du PC a plus qu'accélééré, puis qu'Internet a boosté, et qu'enfin les outils de mobilité ont généralisé.

Mais là où leurs prédécesseurs numériques restaient des outils, des plateformes conçues pour l'essentiel par des ingénieurs, certes porteuses d'applications co-conçues (au mieux) avec des designers, ces Robjets sont des objets du quotidien, porteurs d'usages, qui seront conçus par un nouveau type de concepteurs, utilisant un nouveau type de méthodes, d'outils, de langages, tous encore à inventer.

Les ingénieurs, les marketeurs, les designers — le fameux triangle de l'innovation — doivent réinventer leurs métiers, et mieux les articuler. Si les premiers (et en particulier les informaticiens) ont l'avantage d'avoir élaboré méthodes, outils et langages pour affronter la complexité des systèmes d'information, ils ne sont pas pour autant armés pour aborder une conception d'objets par le biais des usages, comme il est nécessaire de le faire ici (on sait ce qu'est une interface conçue par un informaticien !). De leur côté, concentrés qu'ils sont, et souvent à l'excès, sur les « besoins » du marché au travers d'outils de sondage ou d'observation de la demande (panel, focus group), les marketeurs manquent de l'imagination et de la créativité nécessaires à l'invention d'un monde si radicalement nouveau. Il est clair pour nous (et on ne s'en étonnera pas !) que les designers seront centraux dans cette affaire. Parce que ce sont les comportements et les usages induits qui en seront le cœur, il va falloir concevoir ces objets autour de scénarios de vie, ce qui est au cœur du métier de designer. Les construire, les comprendre, les articuler, et en déduire les formes, les volumes, les matières, les manifestations et les comportements sera de la responsabilité d'équipiers nourris de l'esprit du design, centré sur l'utilisateur.

### Les designers à l'œuvre

Si toutes les écoles de design forment évidemment des « designers numériques » — interfaces, nouveaux médias, interactivité — toutes n'ont cependant pas encore investi le champ des Robjets.

Créé il y a bientôt 4 ans, le département « Systèmes et Objets Interactifs » de Strate Collège (une des deux principales écoles de design française) se donne justement comme objectif de former des designers de Robjets en les initiant à une démarche nommée « Living Object Design ».

Nous allons donc terminer cet article par la description de 3 projets imaginés par nos étudiants, et dont les horizons de faisabilité varient de maintenant à la fin de ce siècle.

### Moovi

MOOVI, imaginé par Gregory Lebourdais en 2009, est un système dédié à des thérapies innovantes de certaines formes d'autisme. Certains autistes ont en effet un réel problème d'appropriation et de contrôle de leur corps. Ils ont aussi une réelle difficulté à différencier le bruit de l'information, quelles qu'en soient les natures : auditives ou visuelles

MOOVI est donc d'abord un petit robot qui peut être piloté par le seul mouvement de la main. Dans un premier temps, MOOVI est placé à terre par le thérapeute, et la personne autiste se contente de faire l'apprentissage des déplacements du petit robot, au travers des mouvements de sa main que celui-ci perçoit et interprète. Dans un second temps, le thérapeute va définir au sol des chemins contraints, que la personne autiste va chercher à respecter, induisant ainsi une certaine maîtrise de sa motricité fine.

MOOVI est ensuite doté d'une caméra permettant de distinguer et de nommer des objets parmi d'autres, permettant ainsi de différencier le bruit né de la multitude des objets de l'information que représente l'objet visé.

Youtube : <http://www.youtube.com/watch?v=eKAfpEWLkrU>

### Metis

Née d'une étude des thèses du transhumanisme, et imaginée par Charles Darius Delaunay-Driquet METIS est une prothèse intelligente directement connectée au système nerveux humain. Très bel objet - et même objet désirable - cette prothèse est une véritable plate-forme de services à la personne.

Puisque que connectée en permanence au corps de son bénéficiaire, cette prothèse est à l'écoute de ce corps et en l'interprète en continu les signaux. Et c'est sur la base de ces interprétations que les services sont délivrés.

Youtube : <http://www.youtube.com/watch?v=aY2sXdbRtC4>

### Living Kitchen

Imaginé par Michael Harboun en 2009, Living Kitchen est une cuisine « vivante » en ce qu'elle délivre ses services en changeant de forme, et en amenant les fonctionnalités là où elles sont nécessaires.

Véritable utopie design, cette vision prospective est basée sur le concept de « matière programmable », connue aux USA sous le nom « Claytronics », telle qu'elle a été imaginée par les chercheurs de Carnegie Mellon University. Dans cette approche, cette matière serait constituée de micro, voire de nano, robots, véritables atomes artificiels, capables

de se positionner en X Y Z, et intégrant diverses technologies.

Toute surface de la cuisine est sensible aux demandes de son utilisateur et délivre, là où on en a besoin, des services aussi divers que des robinets, des éviers, des casseroles, des plaques, des assiettes, etc...



Youtube : <http://www.youtube.com/watch?v=ZrmYdMZaMwY>

### L'objet, victoire de l'IA ?

Après avoir été porteuse des plus hautes ambitions intellectuelles comme sociales de l'informatique au moment de sa naissance, l'IA a vu celles-ci masquées, sinon noyées, par l'émergence d'usages et de pratiques bien différentes, qu'elles soient professionnelles, commerciales, financières, ou ludiques.

Témoin plus ou moins discret d'une numérisation du monde pas encore achevée, elle peut paradoxalement être sûre que celle-ci a mis en place les conditions de son retour victorieux.

Retour victorieux, parce qu'en s'instanciant dans l'objet, l'IA s'installe au plus près de la vie des hommes, au quotidien.

Retour victorieux parce qu'elle changera définitivement la nature du monde, en donnant vie à un nouveau système d'objet, autonomes, attentifs, et pourquoi pas à terme aimants.

Car c'est bien dans la qualité de la relation avec l'humanité que s'affirmera la différence de ce système d'objets animés par l'IA. Elle vient clore ainsi un processus commencé il y a des millions d'années, passant d'abord de la fonction à l'interaction, puis de l'interaction à la relation.

Cela inaugurerait tout simplement une nouvelle manière de vivre : en intelligence(s).

# Construire une mémoire collective de l'entreprise : la gestion des connaissances

Alain BERGER, Jean-Pierre COTTON

Ardans SAS, 2 rue Hélène Boucher, "Le Cristal", 78286 Guyancourt Cedex, France  
Tél. : +33 1 39 30 99 00 - Mél. : { [aberge](mailto:aberge@ardans.fr), [jpcotton](mailto:jpcotton@ardans.fr) } @ [ardans.fr](http://ardans.fr) - Web : [www.ardans.fr](http://www.ardans.fr)

## Genèse de cette discipline

Il y a déjà plus de vingt-cinq années, après une formation informatique spécialisée en « *Intelligence Artificielle* » [ci-après IA], j'abordai le monde de l'industrie pour mettre en place des systèmes à base de connaissances : mon premier grand projet fut d'aider les opérateurs de centrale de production d'électricité à avoir confiance dans leurs procédures incidentelles pour, au cas où (les spectres de *Three Miles Island* et *Tchernobyl* étaient déjà présents, pas encore celui de *Fukushima*), gérer de manière pertinente un événement afin que l'incident ne se transforme pas en un accident : l'IA et les systèmes experts étaient ainsi au service de la formation. La préoccupation d'alors était de reproduire par un programme construit via un langage à base de règles, un raisonnement d'un ou de plusieurs experts, au profit d'un utilisateur. Ce dernier pouvait décrire sa situation, voire dans le cas où la machine était en capacité à la connaître, être capable de comprendre comment déterminer la bonne façon de progresser dans son activité.

Depuis cette période, les technologies informatiques ont particulièrement évolué notamment en termes de performance (*hardware*) comme en termes d'accessibilité (réseau). Les premières conséquences sont un recentrage de la problématique « *gestion des connaissances* » vers un sujet technique « *la modélisation* », un sujet ergonomique « *l'accès à la connaissance en consultation, en modification ou en création* », un sujet organisationnel « *la vie de ce patrimoine de savoir* », un sujet social « *la dynamique humaine collective associée* ».

En parallèle, les comportements au sein des entreprises ou des organisations ont changé. Il faut aller toujours plus vite, toujours moins cher en étant toujours plus performant : soit toujours mieux ! Le vieil adage qui recommandait de « *laisser du temps au temps* » est devenu contre performant selon des cabinets avisés, et le choc simultané des événements « *départ d'experts* » - qui avaient passé une vie à apprendre leur métier - et « *arrivée de la génération Y* » - qui sont convaincus de tout savoir en un clic sur

le *web* — correspond aussi à une période où les entreprises cherchent comptablement à mesurer leur actif immatériel : la connaissance devient alors un élément du capital.

Au-delà du raccourci simpliste, il reste qu'aujourd'hui et encore plus qu'hier, les responsables des entreprises s'interrogent sur comment dans un premier temps bien identifier ce matériau « savoir », comment ainsi le préserver pour ne pas avoir à le re-découvrir, comment dans un deuxième temps le transférer à d'autres personnes dans l'organisation et, comment enfin mettre en place une dynamique humaine dans l'organisation afin de le faire croître d'une part et l'exploiter du mieux possible au quotidien tout en préservant sa confidentialité ! Pour compléter la description des terrains où nous agissons aujourd'hui il y a ce que j'appellerai la « *conscience durable* ». Bien sûr, n'importe quel manager souhaite disposer de la garantie que les connaissances et les expériences de ses équipes soient inaltérables et ne fassent que grandir. Mais cette assurance s'obtient aussi par une posture : pour constituer un tel dispositif pérenne, il convient de porter une forte conviction : celle, où la connaissance est construite collectivement au profit durable de tous ceux qui y abondent ! Cette dimension humaine « *durable* » est un ingrédient du liant qui fait prendre cette mayonnaise.

Quand ce cadre, très riche, est posé, on note que la confiance dans le dispositif et la passion de leur métier permet à des communautés de construire de réelles cathédrales de savoir sur leur métier, dans des délais et avec une qualité en tous points remarquables.

## Exemples opérationnels

Avant de survoler deux exemples opérationnels, analysons pragmatiquement quelle est la forme que prend aujourd'hui la demande d'une organisation pour « *construire une mémoire collective* ».

## CONSTRUIRE UNE MÉMOIRE COLLECTIVE DE L'ENTREPRISE : LA GESTION DES CONNAISSANCES

### Présentation d'une demande opérationnelle « classique »

Il est d'usage de lire dans une consultation : « *Dans le cadre d'une démarche de progrès, une direction métier souhaite profiter d'un événement singulier (mobilité prochaine d'un expert, « turn-over » fort au sein d'une équipe, déploiement rapide d'une nouvelle pratique dans l'organisation, etc.) pour implanter une pratique de gestion et partage de connaissance en son sein.* »

La caractéristique est la « *criticité* » [notion de *crise* qui amène un changement] de ce « *savoir* » cible de l'opération. S'il peut être épars (dans des documents ou dans la tête de certain), sa formalisation n'est pas forcément actualisée, son degré de validation diversement justifié, son format comme son accès hétérogène ou sa classification (au sens confidentialité) approximative, dans certains cas extrêmes, il s'agit de reconstituer ce patrimoine. Ce qui est certain, c'est que le terrain initial constitue un risque, clairement identifié par le management, qu'il convient de réduire.

Dans la sphère « *Knowledge Management* » [ci-après KM], nous qualifions ce type d'opération d'« *Intangible Assets Management* » [ci-après IAM] car le focus est bien porté sur les actifs intangibles de l'organisation et le processus d'élaboration est centré sur les acteurs qui portent ce savoir et qui auront à le faire vivre et grandir ensuite.

Quelle forme est attendue par une telle demande opérationnelle de partage de connaissances au sens IAM? Notre expérience présente en réponse un plan en deux volets :

- Un volet technique d'ingénierie de la connaissance où il s'agit de constituer un patrimoine structuré, organisé, qualifié sur le domaine métier ciblé.
- Un volet Système d'Information [ci-après SI] qui comprend la mise en place d'une plate-forme de « Gestion documentaire & collaborative » voire interopérable avec d'autres applications du SI (via des *Web services* par exemple).

Mais ainsi que nous l'avons introduit, l'arrière-plan qui est essentiel pour la réussite d'une telle opération d'IAM est la prise en compte du facteur humain.

On trouve ci-après deux résumés de projets réels, issus de domaines technico-scientifiques, qui, quoique sensiblement différents dans la prestation initialement formulée, relèvent bien de ces problématiques actuelles de l'IAM.

### Gestion des connaissances au sein d'un bureau d'études avancées

Le premier exemple traite de la mise en place d'un dispositif de gestion des connaissances au sein d'un département d'études avancées de l'industrie de la défense.

Il s'agit d'une prestation qui s'est déroulée sur une durée

totale de 24 mois et dont le premier objectif a été la mise en place d'une base de connaissances avec l'implantation du processus organisationnel pour la capitalisation et l'exploitation des connaissances relatives à la conception de moyens de mesure de phénomène physique.

L'équipe de direction souhaitant un ancrage du dispositif et, dans le même temps une capitalisation effective sur certains sujets d'expertise technique, la première étape a consisté à réaliser un recueil de connaissances auprès d'un nombre limité d'experts et en partant de documents internes déjà rédigés. Cette première étape a permis de montrer la faisabilité en terme d'outil et surtout de modélisation et de rendu (accès, recherche, navigation). Les ontologies et les structures ont été présentées et discutées lors des différents " *Comités de Pilotage* ".

La deuxième étape a été réalisée selon la même logique et avec une cible d'extension du domaine métier. Une vingtaine d'experts est alors impliquée dans la constitution du Fonds de connaissances avec recueil et processus de validation des contenus.

Enfin, la troisième étape orientée « *Système d'Information* » est conduite avec un but de déploiement : processus des connaissances candidates, formations des rédacteurs, formation d'un *Knowledge Manager*, présentation et communication au sein de la Direction. Le système, au sens de dispositif opérationnel, qui est actuellement en début de vie opérationnelle, présente des potentiels prometteurs et la dynamique de développement et d'extension est en mûrissement.

### Gestion des connaissances dans un réseau d'entreprises

Le second exemple concerne un recueil de connaissances expertes chez un modélisateur des réseaux de distribution d'électricité dans le formalisme CIM [*Common International Model*].

Il s'agit d'une prestation de recueil sur un trimestre dont l'objectif est une capitalisation avec une valorisation définie comme suit : « *le dispositif doit proposer rapidement des connaissances de modélisations de réseaux à une personne dont la formation initiale est celle d'un électricien et, inversement, des connaissances électrotechniques à une personne dont la formation initiale est celle d'un informaticien* ».

Cette prestation de courte durée s'est concentrée sur une problématique de représentation de connaissances très pointues (modélisation objet, ontologie électrotechnique) et d'identification des contenus. Une première phase de travail est conduite à partir du dossier remis par l'expert et sous son contrôle, puis suivie par une phase de validation. Trois années après la première mise à disposition de ce patrimoine technique de connaissances formalisées, le dispo-

# CONSTRUIRE UNE MÉMOIRE COLLECTIVE DE L'ENTREPRISE : LA GESTION DES CONNAISSANCES

sitif qui s'est enrichi incrémentalement au fil des nouvelles contributions issues des notes, publications, ou plus modestement de travaux (informatiques ou , s'est transformé en un pilier de référence du domaine. Il est partagé par le réseau des acteurs impliqués au delà de la première entreprise qui l'a fait naître.

## Autres références

Si ces deux exemples montrent la diversité des situations possibles et qui, dans la vie d'un dispositif de gestion des connaissances, sont susceptibles d'être concomitants, d'autres exemples dans des métiers très variés (logistique automobile, instrumentation bios-techs, établissements de santé) confirment cette tendance. La dynamique « locale » a donc été l'objet d'un accompagnement jusqu'à l'implantation concrète et au déploiement opérationnel sur l'échelle complète des entités. Certaines opérations qui sont en exploitation, vivent et évoluent depuis plus de six années (ICARE<sup>12</sup>, RACINES<sup>13</sup>, APOLLON & MAGIC<sup>14</sup>).

## Apports de l'intelligence artificielle

### La problématique considérée

La problématique classiquement posée sous le terme de « *gestion des connaissances* » concerne donc la mise en place d'une dynamique collaborative de partage, de capitalisation et d'accès aux connaissances ou informations pour l'organisation. Cette dynamique est déclinée dans ses différentes composantes : quelle information et quelles connaissances, pour quels usages, portée par quels systèmes d'information, par quelle organisation. Cette dynamique prend racine dans le cadre d'une culture métier et dans le cadre des choix stratégiques de système d'information portés par cette organisation.

### L'ingénierie de la connaissance

Les techniques qui sont employées sont d'abord celles de l'ingénierie des connaissances. Comme dans la période où l'on écrivait des règles métiers dans le langage des moteurs d'inférence, il convient de modéliser les concepts des métiers, de reformuler de façon lisible les contenus des entretiens, de rédiger et expliciter les notions manipulées sans ambiguïté, de structurer de manière claire les process, les

activités, les produits, les composants, etc.

Les outils de gestion des connaissances sont des outils qui rendent des restitutions rapides, sont capables de gérer dynamiquement les concepts, de filtrer efficacement des ensembles d'éléments de connaissances, de poser des informations liées à la traçabilité du contenu, de positionner des priorités, de considérer des droits pour la consultation ou la production, d'inter-opérer avec d'autres applications, d'intégrer des éléments de langage informatique, de considérer la langue comme une facette d'un élément de connaissance, etc.

Les outils actuels (nous citerons *Ardans Knowledge Maker*) sont des logiciels qui facilitent la réalisation « immédiate » de preuves de concept opérationnelles et déployables. Cela signifie qu'après une modification réalisée en direct par un gestionnaire sur la base de connaissance, tous les utilisateurs en sont immédiatement informés.

Les modes de représentation sont ceux issus des technologies objets, les objets manipulés sont conformes à ceux des langages informatiques, auxquels il convient d'ajouter les formats de type xml, vidéos, image, etc.

### La méthode de conduite d'opération

Autre grand apport de l'IA, la méthode de conduite d'opération est identique à celle utilisée dans la mise en place de système à base de connaissance des années 1980-1990. Il s'agit de porter la conduite du changement au sein de la culture de l'organisation.

Ce type de pratique est essentiel car il consiste à rendre des processus d'innovation opérationnels au sens industriel du terme (cf. références chez PSA Peugeot Citroën, ArcelorMittal, Air Liquide Engineering, CEA/DAM, EADS etc.). Là où le dispositif est très étonnant, c'est que le contrat impose une réception quand la connaissance, elle, est en perpétuelle évolution !

## Conclusion et perspectives

Parmi les héritiers de l'intelligence artificielle, la gestion des connaissances a acquis indéniablement un nouveau stade de maturité industrielle. S'il convient d'être toujours prudent quant à l'annonce prédictive d'un succès, la consolidation des retours d'expérience offre aujourd'hui une palette d'outils et de démarches pour aborder sereinement une telle opération de gestion des actifs intangibles.

12. Cf. la publication présentée lors d'EGC2006 C.COPPENS et al. Sur ce dispositif en exploitation chez PSA Peugeot Citroën depuis 2005.

13. Cf. l'article d'ICC2006 P.MORER sur RACINES en exploitation chez STAGO dès 2005.

14. Cf. la publication présentée lors d'EGC2006 A.MARIOT, A.CAILLETTE BAUDOIN et al. Ces dispositifs en exploitation chez ALTIR (APOLLON) et CALYDIAL (MAGIC) depuis 2005.

## CONSTRUIRE UNE MÉMOIRE COLLECTIVE DE L'ENTREPRISE : LA GESTION DES CONNAISSANCES

Cette notion récente d'« *Intangible Assets Management* » offre de dépasser les confusions qui prévalaient par l'ambiguïté portée par l'anglicisme « *Knowledge Management* » : l'utilisateur est ainsi au cœur du dispositif, le management est animé par une vision durable et une conviction de progrès est partagée par la mise en commun de l'actif « *connaissance* ».

L'objectif est bien de faire inter-opérer ou converger harmonieusement les outils du système d'information, les savoirs et savoir-faire dans un environnement fédérateur que les utilisateurs et les experts se sont appropriés et enrichissent pour une meilleure dynamique et performance collective.

### Références

1. Ardans AST2011-132, « *Mémoire en continu : capitaliser et valoriser le savoir-faire et les expériences en continu* », [www.ardans.fr/doc/AST2011-132%20NKM%20MC%20v2\\_0.pdf](http://www.ardans.fr/doc/AST2011-132%20NKM%20MC%20v2_0.pdf)
2. Ardans AST2006-152, « *Ardans make : méthode d'élaboration de la mémoire en continu collective* », [www.ardans.fr/doc/AST2006-152%20NKM%20Make%20v1\\_2.pdf](http://www.ardans.fr/doc/AST2006-152%20NKM%20Make%20v1_2.pdf)
3. Ardans AST2002-163, « *Choisir un système d'aide au diagnostic pour un industriel : initier une mémoire en continu* », [www.ardans.fr/doc/AST2002-163%20NKM%20Diag.pdf](http://www.ardans.fr/doc/AST2002-163%20NKM%20Diag.pdf)
4. Ardans AST2006-354, « *Ardans Knowledge maker : introduction, principes et philosophie implantés dans cet environnement de gestion des connaissances* », [www.ardans.fr/doc/AST2006-354%20NKM%20AKM%20v1\\_3.pdf](http://www.ardans.fr/doc/AST2006-354%20NKM%20AKM%20v1_3.pdf)
5. C. Coppens, J. Laroque Malbert, A. Berger, P. Mariot & JP. Cotton, « *La capitalisation des connaissances dans l'industrie : Implanter un référentiel métier et le déployer : l'exemple d'Icare* », SdC 2006 - Semaine de la Connaissance, Applications industrielles des technologies de la connaissance, Nantes, France, [www.irit.fr/SDC2006/cdrom/contributions/Alainberger\\_SDC2006.pdf](http://www.irit.fr/SDC2006/cdrom/contributions/Alainberger_SDC2006.pdf)
6. A. Mariot, A. Caillette Baudoin, J. Chanliau, P. Mariot, A. Berger & F. Vexler, « *L'efficacité des organisations de santé : La bascule dans la gestion des connaissances* », SdC 2006 - Semaine de la Connaissance, Applications industrielles des technologies de la connaissance, Nantes, France, [www.irit.fr/SDC2006/cdrom/contributions/Jacqueschaliau\\_SDC2006.pdf](http://www.irit.fr/SDC2006/cdrom/contributions/Jacqueschaliau_SDC2006.pdf)
7. P. Morer, M. Boris, « *Chez STAGO, les équipes de R&D s'approprient Ardans Knowledge Maker* », ICC 2006, Veille Magazine n°96, [www.ardans.fr/doc/0610\\_Veille\\_Mag\\_96\\_p8.pdf](http://www.ardans.fr/doc/0610_Veille_Mag_96_p8.pdf)
8. P. Mariot, JP. Cotton, C. Golbreich, A. Berger, F. Vexler, « *Querying multiple sources with OWL ontologies : an exploratory study in an automotive company* », OWLED 2007, CEUR Workshop Proceedings, ISSN 1613-0073, online CEUR-Insbrück, Austria, WS.org/Vol-258/, [www.webont.org/owled/2007/PapersPDF/submission\\_44.pdf](http://www.webont.org/owled/2007/PapersPDF/submission_44.pdf)
9. P. Mariot, C. Golbreich, JP. Cotton, F. Vexler, A. Berger, « *Méthode, Modèle et Outil Ardans de capitalisation des connaissances* », EGC 2007, 7<sup>èmes</sup> journées francophones Extraction et Gestion des Connaissances, Namur, Belgique, [www.ardans.fr/doc/AST2007-483%20NKM%20Ardans%20v1\\_2.pdf](http://www.ardans.fr/doc/AST2007-483%20NKM%20Ardans%20v1_2.pdf), RNTI E12 Modélisation des Connaissances : 187-206
10. A. Berger, JP. Cotton, P. Mariot, « *Accompagner au début du 21<sup>ème</sup> siècle les organisations dans la mise en place d'une gestion des connaissances : retour d'expérience* », EGC 2009, 9<sup>èmes</sup> journées francophones Extraction et Gestion des Connaissances, Strasbourg, France, [www.ardans.fr/doc/090128-EGC2009-AB-JPC-PM.pdf](http://www.ardans.fr/doc/090128-EGC2009-AB-JPC-PM.pdf), RNTI E15 Extraction et gestion des connaissances : 475-479.
11. WJC. Verhagen, P. Bermell Garcia, P. Mariot, JP. Cotton, R. Curran, D. Ruiz, « *Knowledge-Based Cost Modelling of Composite Wing Top Cover* », (Publication International Journal of Computer Integrated Manufacturing Dec. 2010)
12. A. Belloni, A. Berger, JP. Cotton & F. Devoret, « *De la gestion des connaissances structurées au cahier de laboratoire électronique à valeur probatoire : naissance de CLEOPATRE* », IC 2011, 22<sup>ème</sup> Journées francophones d'Ingénierie des Connaissances, May 2011, Chambéry, France [www.ardans.fr/doc/IC2011\\_CLEOPATREpublibook.pdf](http://www.ardans.fr/doc/IC2011_CLEOPATREpublibook.pdf).
13. WJC. Verhagen, R. Curran, « *Ontological modeling of the aerospace composite manufacturing domain* », ICAS 2010 : 27<sup>th</sup> Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, Sept. 2010, Nice, France, [www.icas-proceedings.net/ICAS2010/PAPERS/483.PDF](http://www.icas-proceedings.net/ICAS2010/PAPERS/483.PDF)
14. MARKESS International, « *Gestion de contenu : Nouveaux besoins dans un contexte de collaboration* », Octobre 2010, Coll. Référentiel de Pratiques.

# Interface cerveau-ordinateur et handicap moteur

Groupe BCI<sup>15</sup>, équipe « Signal et Images » du LAGIS  
 Université Lille 1, Sciences et Technologies

En 1982, dans le film « Firefox », Clint Eastwood interprétait le rôle du pilote Mitchell Gant qui devait dérober un prototype d'avion de combat dont l'armement était *contrôlé par la pensée*. Pour le spectateur de l'époque, ce mode d'interaction immatériel entre un humain et une machine relevait de la pure science-fiction. Pourtant, neuf ans plus tôt, Jacques Vidal avait publié un article détaillé posant les bases de « l'interface cerveau-ordinateur » (ICO), concept qu'il avait développé à l'Université de Californie à Los Angeles [1].

Il a fallu attendre que les progrès technologiques permettent le traitement rapide de signaux numériques pour que les premières ICO opérationnelles voient le jour à la fin des années 1980. Les quelques équipes pionnières qui s'étaient lancées dans cette aventure ont alors décrit des ICO mettant en œuvre les paradigmes de communication décrits par Vidal, notamment l'utilisation des potentiels électriques évoqués par un stimulus [2], ou la synchronisation-désynchronisation de rythmes cérébraux liés à la réalisation d'une tâche mentale spécifique, comme l'imagerie motrice [3].

Du fait de ces premiers succès, l'effort de recherche orienté vers le domaine des ICO a progressé de façon quasi exponentielle durant les années qui ont suivi. De nos jours, la plupart des laboratoires spécialisés dans les domaines du traitement des signaux physiologiques, de l'analyse et de la classification de données multi-dimensionnelles complexes, ou encore du développement d'interfaces homme-machine avancées contribuent à l'amélioration des ICO, ou *a minima* ont envisagé d'explorer les possibilités offertes par les ICO dans leur domaine particulier d'application.

## Éléments constitutifs d'une ICO

Dans une ICO, l'activité cérébrale de l'individu est en général mesurée en captant le champ électrique émis par les neurones de son cortex. Les signaux électriques sont enregistrés par des électrodes placées soit sur le cuir chevelu (cf.

figure 1), soit à la surface du cortex, soit encore en contact direct avec les neurones. Ensuite, ils sont traités par l'ordinateur, lequel traduit l'activité cérébrale identifiée en commandes qui pourront ensuite être transformées en actions par le système piloté.



Fig 1 : interface cerveau-ordinateur non invasive. L'activité cérébrale de l'utilisatrice est mesurée par un système EEG (électro-encéphalographie) portable et transformée en commandes. Les traitements sont réalisés dans l'environnement OpenVIBE (<http://openvibe.inria.fr/>)

Du côté de l'ordinateur, la partie « intelligente » de l'interface est celle qui doit s'adapter aux caractéristiques propres à chaque utilisateur afin que la communication soit la plus efficace possible. Concrètement, ce sont des techniques d'apprentissage automatique qui permettent cette adaptation à l'individu, du fait que les corrélations entre les variations des signaux mesurés et les processus mentaux sous-jacents sont encore mal modélisées. Au début de la chaîne de traitements, les signaux bruts sont pré-traités afin d'en extraire des attributs pertinents, lesquels sont censés concentrer la majeure partie de l'information initiale.

15. Marie-Hélène Bekaert, François Cabestaing, Claudine Lecocq, Gaël Picard de Muller, Laurent Peyrodie

Ensuite, une étape de classification élabore les commandes destinées à l'ordinateur.

C'est dans ce maillon de la chaîne de traitements qu'interviennent les techniques d'apprentissage automatique. Elles permettent de rechercher soit la combinaison optimale des éléments caractéristiques permettant d'élaborer un signal de commande, soit les relations implicites qui existent entre ces éléments caractéristiques et les états mentaux de l'utilisateur [4]. C'est sur l'amélioration de cet élément crucial de l'ICO que portent actuellement la plupart des activités de recherche, tout au moins celles qui relèvent du domaine des sciences pour l'ingénieur.

En effet, le problème de l'apprentissage automatique est ici particulièrement complexe. En premier lieu, les signaux traités sont non-stationnaires, leurs propriétés variant fortement d'une session à l'autre, et même parfois au cours d'une session, par exemple quand l'utilisateur se fatigue. D'autre part, le « signal » utile à la communication est littéralement noyé dans un bruit causé par les activités — non corrélées à la réalisation de la tâche de communication — de tous les neurones du cerveau de l'utilisateur. Enfin, pour que l'ICO soit réellement utilisable, tous les traitements de reconnaissance doivent être réalisés en temps-réel, c'est à dire ici à une cadence permettant à l'utilisateur d'interagir efficacement avec l'ordinateur.

Ces difficultés sont loin d'être toutes surmontées et les performances encore limitées des ICO expliquent que cette modalité d'interaction n'est pas prête à détrôner la souris, le touchpad et autres interfaces multitouch.

## *Applications potentielles des ICO*

Malgré les difficultés évoquées précédemment, plusieurs entreprises du jeu vidéo — notamment les géants du domaine comme Sony, Microsoft ou Nintendo — envisagent de substituer une ICO à la manette de jeu. Il s'agit pour l'instant d'une démarche purement commerciale, mais qui présente l'avantage de faire progresser le matériel d'acquisition EEG, notamment en diminuant son coût. Récemment, des systèmes d'électrodes EEG dont l'usage est moins contraignant que le bonnet utilisé de façon standard en milieu clinique sont arrivés sur le marché<sup>16</sup>. Ces matériels permettent de tester facilement les possibilités d'IHM, même si les signaux qu'ils mesurent ne sont pas exclusivement corrélés à l'activité mentale [5].

Dans un cadre assez différent, il est possible d'envisager dès maintenant l'utilisation des techniques dérivées de l'ICO en vue de développer des systèmes d'imagerie fonctionnelle cérébrale qu'on pourrait qualifier de « low cost ».

L'imagerie fonctionnelle consiste à visualiser non pas l'anatomie d'un organe, mais des indices caractéristiques de son fonctionnement, normal ou anormal. Les techniques avancées d'analyse des signaux de l'électroencéphalogramme, développées notamment par les chercheurs en ICO, permettent de localiser les « sources » d'activité neuronale en 3D, avec une précision satisfaisante et une résolution temporelle élevée.

Au LAGIS, comme dans quelques autres laboratoires travaillant sur les ICO, nous privilégions les applications thérapeutiques, et notamment l'aide qu'une ICO peut apporter à un patient très lourdement handicapé [6]. Il s'agit ici de pallier partiellement un handicap moteur sévère, séquelle d'un traumatisme ou d'un accident vasculaire cérébral, ou résultant d'une pathologie comme la dystrophie musculaire de Duchenne (DMD, ou myopathie de Duchenne). Les recherches applicatives que nous menons dans ce domaine portent essentiellement sur la possibilité de rétablir un lien de communication efficace entre la personne handicapée et ses proches.

Nous focalisons notre attention sur les ICO qualifiées d'asynchrones auto-cadencées, du fait qu'elles analysent en continu les signaux liés à l'activité cérébrale. Auto-cadencement signifie que c'est l'utilisateur qui est à l'origine d'une séquence de communication, contrairement aux approches qui nécessitent que ce dernier réponde à des stimulations envoyées par l'ordinateur. Il s'agit alors d'identifier en continu l'état mental de l'utilisateur, plus particulièrement son activité motrice réelle ou imaginée, à partir des signaux enregistrés. Par exemple, ce ne sont pas exactement les mêmes zones du cortex qui se trouvent activées quand on imagine un mouvement d'une main ou quand on imagine un mouvement du pied. On peut ainsi discriminer ces deux mouvements imaginés en analysant précisément les signaux cérébraux, même si ces derniers sont très bruités et de faible intensité. Dans les approches auto-cadencées, comme l'ICO « surveillance » constamment l'utilisateur, il est important que ce dernier puisse inactiver l'interface quand il le souhaite. C'est actuellement sur la détection de ces situations de « non contrôle » que porte le volet plus fondamental de nos recherches.

Bien sûr, avant que des personnes handicapées puissent avoir accès à cette nouvelle technologie, d'abord en milieu clinique puis à domicile, il faudra rendre les ICO plus fiables, plus robustes et permettre qu'elles soient adaptées au cas spécifique de chaque utilisateur. Cela nécessite la prise en compte de nombreux facteurs humains et ergonomiques, dans le cadre des protocoles légaux d'expérimentation et en respectant les contraintes éthiques. C'est pourquoi nous travaillons en collaboration avec les services

16. par exemple : EPOC de emotiv, NIA de OCZ Technology, MindWave de NeuroSky, technologie SAND de Quasar

de neurophysiologie, de neurochirurgie et de réhabilitation fonctionnelle de centres hospitaliers, notamment le CHRU de Lille et le CHU de Nantes.

- 1 J. Vidal. Toward direct brain-computer communication. *Annual Review of Biophysics and Bioengineering*, 2 :157 — 180, 1973.
- 2 L. A. Farwell and E. Donchin. Talking off the top of your head : A mental prosthesis utilizing eventrelated brain potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 70 :510 — 513, 1988.
- 3 J. R. Wolpaw, D. J. McFarland, and G. W. Neat. Development of an electroencephalogram — based brain — computer interface. *Annals of Neurology*, 28(2) :250 — 251, 1990.
- 4 F. Lotte, M. Congedo, A. Lécuyer, F. Lamarche, and B. Arnaldi. A review of classification algorithms for EEG-based brain-computer interfaces. *Journal of Neural Engineering*, 4(2) :1 — 13, 2007.
- 5 J.-C. Tarby and J. Rouillard. BCI et IHM : premiers retours d'expériences. In *Proceedings de Ergo- IA'2010*, Biarritz.
- 6 M.-H. Bekaert, C. Botte-lecocq, F. Cabestaing, and A. Rakotomamonjy. Les interfaces cerveau machine pour la palliation du handicap moteur sévère. *Sciences et Technologies pour le Handicap (Hermes)*, 3(1) :95 — 121, 2009.

**Adhésion individuelle et abonnement** **Demande** **Renouvellement**

Nom : Prénom :  
 Affiliation :  
 Adresse postale :  
 N° de téléphone : N° de télécopie :  
 Adresse électronique :  
 Activité (à titre professionnel / à titre privé (*rayez la mention inutile*)) :

Type d'adhésion	Consultation du bulletin sur WEB (pour une personne)	Envoi du bulletin papier annuel spécial Dossiers + consultation du bulletin sur le WEB
<input type="checkbox"/> Simple :	30 €	40 €
<input type="checkbox"/> Étudiant (sur justificatif) :	15 €	20 €
<input type="checkbox"/> Soutient :	Sans objet	90 €
<input type="checkbox"/> Bulletin sans adhésion :	Sans objet	55 €

- Adhésion au collège IAD-SMA : ajouter 7,5 € pour les étudiants, 15 € pour les autres  
 Adhésion au collège *FERA (Apprentissage)* : ajouter 7,5 € pour les étudiants, 15 € pour les autres

**Adhésion personne morale** **Demande** **Renouvellement****Organisme :****Adresse postale commune aux bénéficiaires couverts par cette adhésion :**

Nom et prénom du représentant : Fonction :  
 Mél : Tél : Fax :  
 Adresse postale :

Le tarif d'adhésion comprend une partie fixe et une partie par bénéficiaire.

Coordonnées des bénéficiaires (10 maximum) :

Nom, prénom	Mél.	Tél.	Fax

	Tarif de base fixe :	Tarif par bénéficiaire :
<input type="checkbox"/> Laboratoire universitaires	150 €	Gratuit limité à 5
<input type="checkbox"/> Personnes morales non universitaires	450 €	Gratuit
<input type="checkbox"/> Adhésion de soutien	600 €	Sans objet

 j'accepte que les renseignements ci-dessus apparaissent dans l'annuaire de l'AFIA j'accepte que les renseignements ci-dessus soient transmis à l'ECCAI pour constituer un fichier européen**Veillez trouver un règlement (à l'ordre de l'AFIA) de ..... Euros****Trésorier AFIA :** Thomas GUYET, Lab. Inf. d'Agrocampus-Ouest, 65, rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes cedex.**Mode d'adhésion :**De préférence, en ligne via le site Internet de l'AFIA : <http://www.afia-france.org>

A défaut, cette page doit être envoyée au trésorier.

**Modes de paiement :**

1. par chèque, à l'ordre de l'AFIA, envoyé au trésorier ;
2. par bon de commande administratif, à l'ordre de l'AFIA, envoyé au trésorier ;
3. par virement bancaire sur le compte de l'AFIA : Société Générale, 4 T rue de Paris, 91400 Orsay, France. Code banque 30003, code guichet 01902, numéro de compte 00037283856 clef RIB 39.

# SOMMAIRE DU BULLETIN N° 72

<b>Editorial</b> .....	3
<b>Le paradoxal succès de l'IA : Histoire d'un malentendu</b> .....	4
<b>Optimisation combinatoire : comment trouver rapidement une bonne solution ?</b> .....	11
<b>L'intelligence du web : l'information utile à portée de lien</b> .....	13
<b>Conception Inventive : l'Intelligence Artificielle aide les ingénieurs</b> .....	17
<b>L'Intelligence Artificielle au service d'écosystèmes de l'innovation</b> .....	19
<b>Création sonore numérique et collections : l'ordinateur artiste</b> .....	22
<b>Utilisation d'une interface vocale pour l'acquisition des connaissances</b> .....	28
<b>L'ordinateur comprend le langage humain : de nouvelles voies s'ouvrent à lui</b> .....	34
<b>L'ordinateur sait lire : analyse intelligente de documents et découverte de connaissances</b> ..	37
<b>Ordinateur et médecine : extraire des connaissances à partir de données médicales</b> .....	42
<b>Les transports deviennent intelligents : cela change tout</b> .....	47
<b>La description du réel, un premier pas vers l'usine numérique</b> .....	52
<b>Les "processus coactivés" et la nouvelle maîtrise du monde</b> .....	55
<b>Quand l'intelligence vient à l'objet</b> .....	63
<b>Construire une mémoire collective de l'entreprise : la gestion des connaissances</b> .....	66
<b>Interface cerveau-ordinateur et handicap moteur</b> .....	70
<b>L'ère de l'intelligence artificielle commence</b> .....	76

# CALENDRIER DE PARUTION DU BULLETIN DE L'AFIA

<i>Hiver</i>	<i>Été</i>
Réception des contributions: <b>15 décembre</b>	Réception des contributions: <b>15 juin</b>
Sortie le <b>31 janvier</b>	Sortie le <b>31 juillet</b>
<i>Printemps</i>	<i>Automne</i>
Réception des contributions: <b>15 mars</b>	Réception des contributions: <b>15 septembre</b>
Sortie le <b>30 avril</b>	Sortie le <b>31 octobre</b>

# L'ère de l'intelligence artificielle commence

Yves Demazeau

Directeur de Recherche au CNRS

Président de l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle

Jean-Denis Muller

Responsable du Programme Analyse de Données et Intelligence Artificielle, CEA LIST

Président du comité d'organisation de la plateforme AFIA 2011

Dans Les Echos du 11 janvier 2010, Kenneth Rogoff, ancien Chef Economiste du FMI, Professeur d'Economie et de Sciences Politiques à Harvard, fait une prophétie : Quel sera le moteur de la croissance économique mondiale de la nouvelle décennie ? Il faut parier que les années 2010 seront celles où l'intelligence artificielle commencera à avoir un impact économique aussi important que l'émergence de l'Inde et de la Chine.

55 ans après la Dartmouth Summer Research Conference, brainstorming fondateur de l'IA, il nous apparaît que l'effort à fournir s'est révélé immensément supérieur à ce que John McCarthy et ses collègues avaient imaginé, eux qui affirmaient que "tout aspect de l'apprentissage ou toute autre caractéristique de l'intelligence peut être si précisément décrit qu'une machine peut être réalisée pour le simuler" et qui pensaient pouvoir produire des avancées significatives en un été... Mais les travaux de ces 55 années ont déjà permis de progresser de façon décisive dans de nombreux domaines qui relevaient, il y a peu de temps encore, de la science fiction.

En 2011, un système informatique joue et gagne contre des adversaires humains à un célèbre jeu télévisé américain, les objets intelligents et communicants nous environnent dans notre quotidien et entrent en interaction avec nous, les téléphones deviennent smart et offrent mille autres fonctions, les capteurs se multiplient, s'interconnectent et dialoguent, les données sont analysées par de puissants algorithmes qui percent la logique cachée, les jeux interactifs, les arts, en particulier la musique et le cinéma, voient leur horizon s'élargir et leurs frontières repoussées. L'intelligence artifi-

cielle, au fil des années, est discrètement sortie de son bac à sable et s'est progressivement, mais définitivement immiscée dans notre vie.

Les architectures de calcul commencent juste à offrir une puissance de traitement compatible avec les enjeux du traitement des énormes flots de données que nous créons chaque jour, les capacités de stockage deviennent gigantesques, l'essor du sans-fil donne à chacun accès à cette colossale puissance de calcul et de stockage; le facteur limitant cette explosion n'est désormais plus la technologie proprement dite, mais l'énergie nécessaire pour alimenter (et refroidir) ces systèmes, et donc leur empreinte sur l'environnement. Le cerveau humain est cependant encore la machine intelligente présentant, et de loin, le meilleur compromis puissance de traitement — volume — consommation d'énergie : il reste la source d'inspiration de demain...

Nous n'en sommes donc qu'à une première étape. Loin d'être anecdotique, cette nouvelle donne scientifique, technologique et applicative est désormais structurante pour nos sociétés. L'intelligence artificielle, pour laquelle plusieurs générations de chercheurs ont tant travaillé, ouvre désormais la voie à des aventures industrielles et sociologiques passionnantes. Il nous appartient, tout en poursuivant l'effort de recherche, d'en favoriser la diffusion pour que chacun en tire le plus grand bénéfice dans sa vie quotidienne. La plateforme AFIA 2011 nous offre une occasion unique de progresser dans ce sens. Nous voulons remercier ici tous les collègues qui l'ont rendue possible, tant du point de vue de son organisation que de sa programmation, et nous souhaitons le meilleur à tous ses participants.