



**HAL**  
open science

## **ECCAI / EurAI Fellows**

Florence Dupin de Saint-Cyr, Philippe Morignot, Claire Lefèvre, Dominique Longin

► **To cite this version:**

Florence Dupin de Saint-Cyr, Philippe Morignot, Claire Lefèvre, Dominique Longin. ECCAI / EurAI Fellows. Bulletin de l'Association Française pour l'Intelligence Artificielle, 100, 2018, Association Française d'Intelligence Artificielle. hal-04588997

**HAL Id: hal-04588997**

**<https://ut3-toulouseinp.hal.science/hal-04588997v1>**

Submitted on 27 May 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



**AfIA**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

# Bulletin N° 100

---

*Association française pour l'Intelligence Artificielle*

---

AfIA



---

## 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.

---

### ■ Édito

Ce numéro du **Bulletin**, dirigé par Philippe MORIGNOT et Dominique LONGIN, est un numéro un peu spécial puisqu'il est le 100<sup>e</sup> que l'AfIA édite ! À cette occasion, un tiré à part de ce dossier a été imprimé et distribué lors de PFIA 2018.

Le dossier, réalisé par Florence BANNAY, porte sur la vision d'un certain nombre d'EC-CAI/EurAI Fellows français sur l'IA. En particulier, il leur a été demandé de décrire un ou plusieurs articles les ayant particulièrement marqués, un bref état de l'art actuel de leur domaine, ainsi que leur vision de l'évolution de ce domaine dans les dix prochaines années.

Ce **Bulletin** contient également le compte-rendu de la 3<sup>e</sup> journée Extraction et Gestion des Connaissances & IA (EGC & IA) organisée conjointement par l'AfIA et EGC. Cette journée visait à offrir un panorama des approches liées à la collecte, le stockage et la gestion des données personnelles en lien étroit avec les problématiques de vie privée et d'éthique.

Enfin, vous trouvez également l'ensemble des soutenances de thèses et HDR dont nous avons eu connaissance sur ce premier trimestre 2018.

**Bonne lecture à tous !**

*Dominique LONGIN & Philippe MORIGNOT*  
*Rédacteurs*



---

## SOMMAIRE

### DU BULLETIN DE L'AFIA

---

3	Dossier « ECCAI/EurAI Fellows »	
	Édito . . . . .	4
	Christian BESSIERE : Où va la programmation par contraintes ? . . . . .	4
	Yves DEMAZEAU : Systèmes Multi-Agents . . . . .	6
	Jérôme EUZENAT : De la langue à la connaissance: approche expérimentale de l'évolution culturelle . . . . .	9
	Jean-Paul HATON : Réflexions sur l'intelligence artificielle . . . . .	13
	Yves KODRATOFF : Apprentissage et IA . . . . .	15
	Pierre MARQUIS : La compilation logique de connaissances. . . . .	19
	Jacques PITRAT : N'oublions pas l'IA forte! . . . . .	23
	Henri PRADE : Un chemin de recherche en intelligence artificielle à la découverte de nouveaux cadres de formalisation . . . . .	28
	Marie-Christine ROUSSET : Algorithmique du raisonnement à base de règles et d'ontologies . . . . .	30
	Gérard SABAH : Traitement automatique des langues.. . . .	34
	Thomas SCHIEX : Contraintes, incertitudes et modèles graphiques . . . . .	40
44	Comptes rendus de journées, événements et conférences	
	EGC & IA . . . . .	45
48	Thèses et HDR du trimestre	
	Thèses de Doctorat . . . . .	49
	Habilitations à Diriger les Recherches . . . . .	52



**AfIA**  
Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

---

## Dossier

# « ECCAI/EurAI Fellows »

---

Dossier réalisé par

**Florence BANNAY**  
*IRIT / ADRIA*  
*Université Paul Sabatier*  
*[Florence.Bannay@irit.fr](mailto:Florence.Bannay@irit.fr)*



## ■ Édito

Ce numéro étant symboliquement (ou plutôt numériquement) spécial, le Comité d'Administration de l'AfIA a voulu proposer un contenu marquant, et c'est ainsi que nous avons décidé de solliciter tous les ECCAI/EurAI Fellows français<sup>1</sup>.

J'ai demandé à chacun d'eux de nous exposer une vision de son domaine de recherche, en lui suggérant une organisation en trois parties :

- la description d'un ou plusieurs articles qui l'ont marqué au cours de sa carrière<sup>2</sup>,
- un bref état de l'art actuel de son domaine,
- une vision de l'évolution dans une perspective à dix ans.

J'ai reçu onze contributions<sup>3</sup> permettant ainsi de rassembler les points de vue sur notre discipline de chercheurs en IA internationalement reconnus. Les articles couvrent des domaines techniques ou théoriques, mais abordent aussi des questions philosophiques comme l'explicabilité, la créativité, l'éthique, la conscience... Ces contributions sont importantes tant pour notre culture à l'intérieur de notre communauté que pour contribuer à clarifier l'image de l'IA dans le grand public.

J'espère donc que vous aurez plaisir à découvrir ces textes...

Florence Bannay

## ■ Christian BESSIERE : Où va la programmation par contraintes ?

LIRMM/Coconut | **Christian BESSIERE**  
CNRS / Université de Montpellier | ECCAI Fellow en 2006  
[www.lirmm.fr](http://www.lirmm.fr) | [bessiere@lirmm.fr](mailto:bessiere@lirmm.fr)

### L'article qui m'a marqué

L'article qui m'a probablement le plus marqué, c'est l'article de Gene Freuder sur la  $k$ -cohérence dans les problèmes de satisfaction de contraintes [1], ou plutôt la séquence d'articles de Freuder sur la  $k$ -cohérence [1], la  $(i, j)$ -cohérence [3] et les conditions suffisantes pour une recherche sans échec [2, 4]. Moi qui étais fan de casse-tête et jeux logiques, c'est grâce à ces articles que j'ai eu la confirmation théorique qu'il est toujours possible, en augmentant

la quantité de raisonnement, de résoudre n'importe quel casse-tête (ou problème NP-easy<sup>4</sup>) sans échec. Résoudre un problème sans échec c'est ne pas avoir besoin de rentrer dans une boucle « essai/erreur », ou dit autrement, pour les jeux sur papier, ne pas avoir besoin d'utiliser la gomme. De ces quatre articles, on apprend aussi que la quantité de raisonnement nécessaire à une résolution sans échec est liée à des propriétés intrinsèques du problème à résoudre.

1. Il y a eu 26 ECCAI/EurAI Fellows français depuis la création de cette distinction en 1999, j'ai pu en contacter une vingtaine parmi ceux qui sont encore en activité. Notre initiative arrive hélas trop tard pour deux d'entre eux, Alain COLMERAUER et Daniel KAYSER, dont les contributions nous manqueront cruellement.

2. Cette idée provient de Nicolas MAUDET qui avait envisagé la création d'une rubrique régulière du Bulletin « Un article, un Chercheur » que nous n'avons pas (encore) réussi à mettre en place.

3. Les articles sont présentés par ordre alphabétique des auteurs.

4. Intuitivement, un problème est dit NP-easy s'il n'est pas plus difficile que les problèmes dans NP.



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

## La programmation par contraintes aujourd'hui ...

La programmation par contraintes est probablement à un carrefour de son existence. Les méthodes de résolution sont maintenant assez efficaces pour résoudre nombre de problèmes combinatoires réels et d'ailleurs, de nombreuses grandes entreprises utilisent la programmation par contraintes pour certaines tâches (chaînes de montage de voitures, emplois du temps du personnel, gestion des chargements/déchargements de bateaux dans les ports, etc.). En même temps, les contributions qui permettent d'améliorer les performances des solveurs de façon significative se font plus rares. Du coup, on voit un nombre croissant de chercheurs se tourner vers l'utilisation de la programmation par contraintes pour attaquer des problèmes dans d'autres domaines de recherche. La programmation par contraintes devient alors un outil « au service de ». L'axe de recherche « programmation par contraintes pour les *data sciences* » est un bon exemple de cette tendance puisqu'il a assez de succès pour avoir déjà donné lieu à deux *special tracks* de la conférence internationale *CP* et à un numéro spécial de la revue *Artificial Intelligence*. Des approches contraintes sont proposées pour résoudre des problèmes de fouille de données de façon déclarative, et donc plus flexible et expressive que les approches *ad hoc*.

### ... Et demain

La tendance à faire de la programmation par contraintes un outil pour les autres domaines de recherche n'est pas mauvaise, au contraire. C'est la preuve que c'est une technologie qui marche. Mais en tant que membre de cette communauté, j'aimerais voir la programmation par contraintes survivre par elle-même et pas seulement à travers les autres domaines. Si on regarde où la programmation par contraintes a fait ses preuves, on voit que

c'est à chaque fois dans les applications industrielles de grandes entreprises qui peuvent se permettre de payer un spécialiste pour modéliser leur problème avec cette technologie. La programmation par contraintes a en effet cette faiblesse de ne pas faire parti du bagage par défaut de tout ingénieur, au contraire de la programmation linéaire. Or, modéliser un problème par des contraintes, même si c'est souvent plus facile que de le modéliser par un programme linéaire, n'est pas trivial pour autant.

Il y a quelques années, un groupe de chercheurs, emmené par Freuder, voulait créer l'*avatar*, un agent résolveur de problèmes à contraintes qui se baladerait dans notre ordinateur et sur le web à notre place pour résoudre nos problèmes du quotidien. Ce projet tomba malheureusement à l'eau. Je dis malheureusement car les problèmes embêtants pour un individu sont souvent combinatoires et se prêtent donc bien à la programmation par contraintes. Reconnaître une girafe sur une photo n'est pas forcément un problème crucial pour un individu, à moins qu'il ait 1000 photos de vacances en safari à trier, alors que gérer son emploi du temps ou planifier ses prochaines vacances sont des tâches fréquemment rencontrées et le plus souvent pénibles. A l'échelle de l'individu, embaucher un spécialiste de programmation par contraintes pour modéliser son problème combinatoire n'est pas envisageable. On peut donc rêver d'un module d'analyse de nos données qui apprendrait nos contraintes en visitant notre agenda et nos préférences en regardant les choix que nous faisons dans nos activités. On pourrait alors laisser notre avatar chercher à notre place la solution à notre problème d'emploi du temps, de vacances ou autre, et l'appliquer. Ou bien sûr dire à l'avatar que cette solution ne nous convient pas (et accessoirement pourquoi elle ne nous convient pas) et le laisser en trouver une meilleure.

Ce que je dis là sur l'avatar et mes vacances



a bien sûr un air un peu bucolique. Mais si on remplace l'individu par une petite ou moyenne entreprise, et mes vacances par l'organisation des activités de l'entreprise, on voit tout le bénéfice économique que l'on pourrait tirer d'un tel avatar.

### Références

- [1] E.C. Freuder. Synthesizing constraint expressions. *Communications of the ACM*, 21(11) :958–966, Nov 1978.
- [2] E.C. Freuder. A sufficient condition for backtrack-free search. *Journal of the ACM*, 29(1) :24–32, Jan. 1982.
- [3] E.C. Freuder. A sufficient condition for backtrack-bounded search. *Journal of the ACM*, 32(4) :755–761, Oct. 1985.
- [4] E.C. Freuder. Complexity of k-tree structured constraint satisfaction problems. In *Proceedings AAAI'90*, pages 4–9, Boston MA, 1990.

## ■ Yves DEMAZEAU : Systèmes Multi-Agents

LIG/ CNRS, 38000 Grenoble

**Yves DEMAZEAU**

ECCAI Fellow en 2010

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

### Référence

L'article qui a le plus marqué ma propre vision des systèmes multi-agents est sans aucun doute celui que Yoav Shoham a publié dans *Artificial Intelligence* en 1993, intitulé « Agent Oriented Programming » [3].

Les années 50 avaient apporté le langage machine et l'assembleur, les années 60 la programmation procédurale, les années 70 la programmation structurée, les années 80 la programmation objet et la programmation déclarative. Les années 90 allaient, avec cet article, permettre une fois de plus une programmation toujours plus intuitive, car plus proche de la façon dont l'homme raisonne et s'exprime. Le pari était ambitieux car, s'il avait été assez facile de passer des données aux objets, le passage des objets aux agents allait s'avérer plus ardu. Et d'ailleurs, encore maintenant, il n'y a pas de langage orienté agent qui soit très largement adopté.

Cet article introduit à la fois la notion de Programmation Orientée Agent et propose

une instance d'un tel langage, AOP. J'avais la chance de connaître l'auteur déjà à ce moment-là, rencontré à l'occasion d'un séminaire que j'avais donné à l'Université de Stanford en 1988 sur l'« IA Décentralisée », et je n'ai pas été surpris par l'habileté de Yoav dans cet article à combiner la programmation objet et la programmation logique dont il était l'un des ardens défenseurs. Pour ce qui est d'AOP lui-même, l'article propose un langage formel restreint qui permet de décrire les états mentaux – indexés temporellement – des agents, un langage de programmation interprété, et, petite révolution à l'époque, un « agentificateur », laissé à la discrétion du concepteur, explicitant la nécessité pour lui de penser aux objets du monde en termes d'agents et d'états mentaux.

Cet article m'a, à côté d'autres, fort probablement influencé pour la genèse de la méthode VOYELLES [1], méta-modèle de construction de systèmes multi-agents dont j'ai parlé la première fois en 1995 – quelques années après la publication de cet article donc – et sur laquelle





je continue à travailler toujours à l'heure actuelle, en y incluant la prise en compte de principes éthiques dès la conception des systèmes, et en associant étroitement le concepteur au cycle de vie des systèmes engendrés [2].

## État de l'art

Vingt-cinq ans après cet article précurseur sur les langages orientés agents ou multi-agents, force est de constater qu'aucun standard ne s'est véritablement dégagé. La [FIPA](#) (Foundation for Intelligent Physical Agents) a surtout développé des spécifications pour les interactions entre agents, tandis que dans le même temps, Java, qui n'était pas véritablement prévu dans la belle histoire des langages de programmation, a offert à la communauté des systèmes multi-agents et à d'autres, certaines compatibilité et portabilité qui semblent s'être avérées suffisantes.

Du côté plateformes de développement de systèmes multi-agents, qui se comptaient par dizaines il y a vingt ans, seules quelques-unes, les plus simples à utiliser, mais suffisantes à déployer des centaines ou milliers d'agents homogènes, de [NetLogo](#) à [RePast](#), ont vraiment trouvé leur audience dans la communauté. Malgré certains efforts louables ici et là pour de nouvelles plateformes, la communauté semble en fait se heurter à un plafond de verre, au niveau tout à fait humain, non pas à concevoir mais à programmer en termes de multi-agents.

Les applications pratiques des systèmes multi-agents, elles, se développent toujours plus, en témoigne le succès grandissant de la conférence [PAAMS](#) (Practical Applications of Agents and Multi-Agents). Les domaines d'application les plus populaires concernent les transports et l'énergie, souvent selon une perspective de simulation orientée agent ; et on retrouve bien dans ces travaux les plateformes susmentionnées, ce qui facilite de fait les échanges entre praticiens des systèmes

multi-agents.

Les progrès théoriques dans le domaine des systèmes multi-agents sont eux plutôt mesurables dans la conférence [AAMAS](#) (Autonomous Agents and Multi-Agent Systems), et, ces dernières années ils semblent plafonner. L'une des raisons en est toujours l'absence de consensus sur – et donc de référencement à – des notions aussi importantes que celles d'interaction ou d'organisation, entre autres ; et par voie de conséquence, les benchmarks sont eux aussi absents. Une autre raison en est sûrement la focalisation, excessive ces dernières années, sur des modèles venant de l'économie, tels la théorie des jeux, au détriment de modèles plus cognitifs.

Ceci dit, actuellement, la communauté semble s'inspirer plus des sciences humaines et sociales que de celles de la nature et de la vie, alors qu'à l'origine du domaine, les impacts de ces sources d'inspiration étaient plus équilibrés. Ce qui par contre est maintenant beaucoup plus stable – qui n'était pas si évident à la naissance du domaine – c'est l'ancrage du domaine des systèmes multi-agents dans l'IA. En témoignent la présence récurrente des [JF-SMA](#) (Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents) au sein de [PFIA](#) (Plate-Forme IA), mais aussi la récente co-localisation de la conférence [AAMAS](#) avec [IJCAI](#) (Artificial Intelligence).

Sachant la mise en avant des techniques d'apprentissage profond ou assimilées à [IJCAI](#), cet ancrage laisse-t-il présager de nouveaux travaux en apprentissage dans le domaine des systèmes multi-agents ? Sachant l'influence actuelle des sciences humaines et sociales sur les systèmes multi-agents, j'en doute. D'autant plus, les systèmes multi-agents de très grande taille sont plus complexes que des réseaux de neurones multicouches, ne serait-ce que par la dynamique des liens entre agents.



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

## Perspective

Il y a vingt ans, la communauté traitait d'applications impliquant des centaines d'agents, il y a dix ans, des dizaines de milliers, et maintenant, un million... Quelles applications allons-nous traiter dans dix ans qui nécessiteraient le déploiement de cent millions d'agents? De quels langages et/ou plateformes allons-nous disposer à l'avenir? L'utilisateur est maintenant rentré dans la boucle de la conception des systèmes multi-agents, n'est-il pas temps que le concepteur soit mieux associé à la programmation, à la dynamique et à la maintenance des systèmes qu'il conçoit? Je suis convaincu de la nécessité pour la communauté de revenir à une plus grande attention sur les méthodes de conception et de programmation de nos systèmes.

Dans le détail, les chantiers à définir pour ces méthodes vont devoir intégrer les évolutions en cours. Personnellement, je suis partisan de prendre en compte les aspects éthiques dès la conception des systèmes pour plus de sécurité, de revisiter les modèles utilisateurs pour mieux les servir, de regarder plus du côté des sciences de la nature et de la vie pour découvrir de nouveaux mécanismes d'interaction, de s'intéresser plus à la dynamique des systèmes qu'à leur statique pour mieux les maintenir, de savoir les observer pour savoir les expliquer, et de les évaluer pour toujours les remettre sur l'ouvrage et les adapter. C'est ma vision de l'avenir de ces systèmes, j'espère trouver les moyens

de la développer et que d'autres voudront non seulement la partager, mais y contribuer.

En tout cas, ces axes de travail ne sont pas si spécifiques aux systèmes multi-agents mais bien transversaux à de nombreuses communautés spécialisées de l'IA. La meilleure manière d'avancer pour l'IA me semble donc être de travailler orthogonalement à ce que nous avons fait ces vingt dernières années, de retrouver les autres communautés spécialisées, à [PFIA](#), [ECAI](#), [IJCAI](#), pour partager les meilleurs de nos résultats avec les autres, de redonner du souffle aux travaux sur l'intégration de systèmes d'IA, au sens fort de la définition de l'IA, et de nous permettre d'être ainsi préparés à relever des défis toujours plus complexes.

## Références

- [1] Yves Demazeau. [From Cognitive Interactions to Collective Behaviour in Agent-Based Systems](#). In *1st European Conference on Cognitive Science*, pages 117–132, Saint-Malo, France, 1995.
- [2] Yves Demazeau. [Ethics and the Design of User-centered Multi-Agent Systems](#). In *1st International Symposium on Ethics in Engineering, Science and Technology, Ethics'2014*, number 32. IEEE, Chicago, 2014.
- [3] Yoav Shoham. [Agent-oriented programming](#). *Artificial Intelligence*, 60 :51–92, 1993.



## ■ Jérôme EUZENAT : De la langue à la connaissance : approche expérimentale de l'évolution culturelle

LIG / Équipe mOeX | **Jérôme EUZENAT**  
INRIA & Université Grenoble Alpes | ECCAI Fellow en 2014  
<http://moex.inria.fr> | [Jerome.Euzenat@inria.fr](mailto:Jerome.Euzenat@inria.fr)

Il est un mystère qui ne cesse de m'intriguer : Comment pouvons-nous communiquer, alors que nous n'avons manifestement pas la même chose dans la tête ?

Cette question peut se décliner de diverses manières : Que peut-on dire de la représentation de la même situation dans différents formalismes ? Comment un groupe de personnes travaillant ensemble parvient à converger vers une conception commune ? Quelles sont les relations entre différentes ontologies d'un même domaine ? Ces questions tournent autour de la représentation de la connaissance, sa sémantique et son évolution.

La représentation de la connaissance approche principalement ce problème de manière globale : les représentations doivent, sinon être consistantes, au moins offrir une stabilité globale indépendante des événements y ayant mené. Tout conflit nécessite une remise en cause destinée à éviter un optimum local. Ces travaux sont très précieux, mais ne permettent pas de prendre en compte une approche plus « individuelle » de la sémantique (on a souvent un modèle en tête que l'on ne caractérise pas syntaxiquement), ni la construction progressive de la connaissance « par frottement ». En informaticien que je suis toujours, j'ai longtemps cherché des méthodes structurelles pour aborder ce problème. C'est une discussion en 2012 qui m'a convaincu que « ce n'est pas comme ça que ça marche ». Oui, mais comment ?

### « Experiments in cultural language evolution »

*Experiments in cultural language evolution* [4], coordonné par Luc Steels, est paru alors que je me posais ces questions. Cet ouvrage influence largement mon travail actuel.

Il résume l'activité de l'équipe dirigée par Luc Steels sur l'étude de l'évolution des langages en utilisant des méthodes de simulation multi-agents. Il observe comment des agents, jouant à des jeux de langage, font évoluer des macro-structures linguistiques, nommées stratégies langagières, qui peuvent recouvrir des phénomènes linguistiques très variés (par exemple, l'utilisation de préposition, de cas ou de l'ordre des mots pour exprimer la relation entre les composants et l'action). De telles stratégies ne déterminent pas une langue précise, mais des constructions que l'on peut y trouver. Le but n'est donc pas de reconstruire l'histoire d'une langue particulière, mais d'appréhender les principes suivant lesquels elles ont pu se développer. L'ouvrage montre, sur des cas précis et réels, comment des mécanismes de sélection permettent d'évoluer vers l'adoption de stratégies particulières.

Ce travail est inspiré par l'idée anthropologique d'évolution culturelle [3]. Mais alors que les travaux dans ce domaine développent souvent des macro-modèles de l'évolution (des systèmes d'équations dont les variables sont des groupes d'individus adoptant une pratique), Luc Steels développe des micro-mécanismes, implémentés dans chaque individu.



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

L'ouvrage déploie une méthodologie qui le traverse et en fait l'unité. Cette méthodologie est fondée sur quelques éléments simples : agent, situation, jeu, mesure de succès, observation de l'évolution de différentes variables au cours des tours de jeux.

Les expériences sont fondées sur des jeux de langage dans lesquels les interlocuteurs tentent de communiquer. Les jeux de langage impliquent une population d'agents, un environnement et un protocole de jeu. Un protocole typique, à chaque tour, sélectionne les agents qui jouent et leur assigne un rôle (enseignant ou apprenant par exemple). Il spécifie alors les actions de chaque agent, comme poser une question ou montrer quelque chose dans l'environnement. Le jeu définit aussi les critères de succès ou d'échec d'un tour (par exemple, avoir bougé dans la position indiquée). À la fin du jeu, les agents adaptent leur stratégie, soit en cas de succès en renforçant la stratégie mobilisée, soit en cas d'échec en la modifiant pour éviter la reproduction de cet échec. La population d'agents converge vers des stratégies langagières propres à assurer le succès au jeu considéré.

Trois types d'expériences sont proposés qui permettent de s'assurer de différentes propriétés d'une stratégie :

**adéquation** vérifiant que la stratégie permet de communiquer avec succès,

**apprenabilité** vérifiant qu'un enseignant peut transmettre la stratégie à un élève, et

**formation** vérifiant qu'un groupe d'agents, partant d'une situation plus ou moins aléatoire, peut développer cette stratégie.

Même si les chapitres sont signés par différents auteurs et traitent de phénomènes différents, les notations employées et leur structure est homogène. Tous les chapitres ont une structure similaire : l'introduction, qui peut être très détaillée, décrit le phénomène linguistique ou pragmatique considéré par les expériences.

Il est parfois explicitement connecté à des travaux en psychologie, biologie, sciences cognitives ou linguistique. Le dispositif expérimental est décrit, la plupart du temps en termes précis de jeux de langage. Finalement, les résultats expérimentaux sont produits et discutés. Les résultats montrent l'évolution d'une ou plusieurs mesures en fonction du nombre de tours joués dans une population. La mesure principale est le taux de succès ; les mesures secondaires étant souvent des mesures d'économie (parcimonie des ressources consommées ou produites), ce qui rend les résultats compréhensibles immédiatement. L'organisation des chapitres est progressive et montre l'impact de légères variations des conditions expérimentales. La plupart des chapitres construisent sur la base des chapitres précédents.

Le principal reproche que je ferais à ce livre est de ne pas évoquer d'expériences qui ne marchent pas. En effet, tout semble si facile !

L'étendue des travaux présentés est impressionnante à deux titres. D'une part, Luc Steels cherche à ancrer ses travaux dans l'expérience physique des agents. Ainsi, il réussit le tour de force de développer des expériences en utilisant une boucle complète où des robots interagissent physiquement entre eux et avec l'environnement. Ils combinent perception (vision, audition), raisonnement (apprentissage, représentation, décision) et action (mouvement, parole) dans les mêmes expériences. Bien que ce ne soit pas mon centre d'intérêt, je ne peux m'empêcher d'admirer le résultat. D'autre part, même si les dispositifs expérimentaux et les structures cognitives (grammaires, lexiques, représentation de la connaissance) diffèrent d'une expérience à l'autre, les mêmes principes sont appliqués avec succès à des phénomènes linguistiques très variés.

L'ouvrage touche de nombreuses sous-disciplines de l'IA : systèmes multi-agents, robotique, traitement du langage naturel, repré-



sentation de connaissance, etc. C'est une de ses forces, mais c'est la simulation de l'évolution culturelle qui a été ma source d'inspiration.

## **Vers une évolution culturelle de la connaissance**

L'approche développée par Luc Steels et ses collègues est extrêmement fructueuse scientifiquement. Il est tentant de l'adapter à l'étude de l'évolution de la connaissance. Comment, en effet, peut-on imaginer que notre connaissance ne se transmet pas socialement mais s'acquiert uniquement par l'expérience ?

Aussi, ai-je donc décidé d'adapter l'approche développée dans ce livre à la connaissance dont disposent des agents. Cette connaissance se transmet culturellement d'agent à agent et permet de guider leur comportement. On peut appliquer à la connaissance le même procédé qu'au langage : les agents sélectionnent la connaissance qui leur est la plus utile. On peut aussi remonter l'affaire un cran plus loin : l'environnement dans lequel évoluent les agents exerce une pression plus forte sur ceux dont la connaissance est moins adaptée.

Cela conduit à considérer que la connaissance de ces agents est façonnée par deux principales sources de pression : l'environnement dans lequel ils évoluent et les agents avec lesquels ils interagissent. Ces deux sources peuvent éventuellement changer au cours du temps. À cette pression externe, répondent des pressions internes qui peuvent être la cohérence logique ou la limitation des moyens.

La question centrale est alors de comprendre comment la connaissance d'un groupe d'agents peut évoluer en fonction de changements dans leur environnement et de la rencontre de nouvelles populations d'agents.

À partir de telles hypothèses, on peut étudier des populations d'agents partageant leur connaissance par leur interaction, suivant des

modalités précises comme les jeux de langage. L'interaction peut impliquer l'échange direct de connaissance ou le fait d'agir conjointement. Suivant l'issue de leur interaction, succès ou échec, les agents vont appliquer des opérateurs d'adaptation pour modifier leur connaissance.

L'objectif n'est pas de concevoir des procédures permettant aux agents de converger vers la même représentation mais de caractériser les propriétés satisfaites par les représentations vers lesquelles les agents convergent. De telles propriétés peuvent être :

- Les agents convergent vers une même représentation ou des représentations logiquement équivalentes ;
- Les agents convergent vers des représentations différentes mais consistantes entre elles, ou vers des représentations plus proches les unes des autres ;
- Les populations d'agents disposant d'opérateurs permettant la préservation de représentations plus diverses résistent mieux aux changements de l'environnement.

En toute généralité, de telles questions s'appliquent aux êtres humains, possiblement aux animaux, autant qu'aux agents logiciels. Nous cherchons à les étudier dans un contexte informatique contrôlé.

Notre but est donc d'établir les propriétés globales satisfaites par la connaissance obtenue à l'échelle de populations d'agents utilisant des opérateurs d'adaptation locaux.

Ceci peut être obtenu expérimentalement, comme dans l'ouvrage de Steels, en exécutant des simulations et en observant les propriétés de la connaissance résultante.

J'ai développé des expériences de ce type en partant de ce sur quoi nous avons travaillé pendant plus d'une quinzaine d'années : l'alignement d'ontologies. Des agents peuvent, pour communiquer lors de jeux, utiliser des alignements entre leurs différentes ontologies. Lorsque la communication échoue, par



exemple, lorsque l'agent n'arrive pas à identifier la classe d'un objet de l'environnement, les agents peuvent corriger les alignements entre leurs ontologies. On montre que des opérateurs d'adaptation locaux très simples permettent de corriger les alignements [2]. On peut même faire en sorte que des agents partant de rien créent et sélectionnent avec succès les alignements [1].

## Perspectives

L'étude de l'évolution de la connaissance est un sujet passionnant et largement ouvert. Les résultats obtenus avec l'évolution culturelle de la connaissance sont très prometteurs. Mais, si l'on est capable de mettre en œuvre des mécanismes qui effectivement fonctionnent, il est plus difficile de combiner différents mécanismes pour mettre en évidence des comportements plus sophistiqués. Ce n'est pas surprenant : la sélection, naturelle ou pas, est un dispositif de longue haleine qui ne se manifeste qu'en présence de pression sélective adaptée.

Cette approche nécessite de développer des méthodologies expérimentales qui permettent d'avoir confiance dans les résultats obtenus pour s'appuyer dessus. Il faut donc développer des expériences documentées, enregistrées, et facilement rejouables. Il faut stocker les données produites de manière à les comparer. Enfin, il est souhaitable de pouvoir facilement altérer une expérience pour pouvoir comparer les résultats de deux situations différentes. Si cela dépasse le cadre de l'ouvrage présenté, la crédibilité de l'approche en dépend.

Nous n'avons évoqué ci-dessus que l'aspect expérimental, directement lié à l'ouvrage. Mais il est possible d'envisager l'évolution de la connaissance suivant deux autres aspects complémentaires :

- Il est possible de formaliser les situations expérimentales et de déterminer théorique-

ment les propriétés satisfaites. Se pose alors la question du formalisme approprié (systèmes dynamiques, logiques dynamiques épistémiques, théorie des jeux).

- Il devrait être possible de confronter les résultats obtenus à des observations ou des modèles de sciences sociales. Ici aussi, le choix du bon cadre se pose.

Une difficulté supplémentaire est de décider de l'appartenance disciplinaire de ce type de travaux. L'espace des problèmes considérés est vraiment très large, et il est possible de se focaliser sur des aspects très différents. On peut les rattacher à l'intelligence artificielle, aux systèmes multi-agents, à la révision des croyances, à la simulation sociale, à la mémétique ou aux domaines d'application considérés (linguistique, robotique sociale, web sémantique).

## Références

- [1] Jérôme Euzenat. Crafting ontology alignments from scratch through agent communication. In *Proc. 20th International conference on principles and practice of multi-agent systems (PRIMA), Nice (FR)*, pages 245–262, 2017.
- [2] Jérôme Euzenat. Interaction-based ontology alignment repair with expansion and relaxation. In *Proc. 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Melbourne (VIC AU)*, pages 185–191, 2017.
- [3] Alex Mesoudi, Andrew Whiten, and Kevin Laland. Towards a unified science of cultural evolution. *Behavioral and brain sciences*, 29(4) :329–383, 2006.
- [4] Luc Steels, editor. *Experiments in cultural language evolution*. John Benjamins, Amsterdam (NL), 2012.



## ■ Jean-Paul HATON : Réflexions sur l'intelligence artificielle

LORIA/ Université de Lorraine à Nancy | **Jean-Paul HATON**  
Institut Universitaire de France | ECCAI Fellow en 2001  
Membre de l'Académie Royale de Belgique | [jph@loria.fr](mailto:jph@loria.fr)

C'est avec grand plaisir que j'ai accepté l'invitation de l'AfIA de contribuer à son bulletin n°100. En tant qu'ancien président, j'ai pu constater avec beaucoup de satisfaction que, à presque trente ans d'âge, l'AfIA se porte très bien...

### Quelques articles qui m'ont marqué

L'exercice est complexe car il est difficile de faire un choix parmi le grand nombre d'articles qui ont été à l'origine de nouvelles voies de recherche ou qui ont simplement été source d'inspiration pour chacun d'entre nous.

J'ai choisi d'en retenir trois :

- A. M. Turing (1950) *Computing Machinery and Intelligence* [3]

Ce choix peut être celui de tout informaticien ! Mais il a joué pour moi un rôle déterminant. Je l'ai lu en 1970, époque durant laquelle, comme jeune assistant agrégé de physique j'utilisais l'ordinateur pour sa puissance de calcul (à l'époque toute relative...) indispensable en physique. Cet article et sa question « Can machines think ? » m'a ouvert de nouveaux horizons et a déterminé définitivement ma voie de recherche.

- J. Baker (1975) *Stochastic modeling for ASR* [1]

Ce chapitre est une des publications qui marquent l'apparition des modèles de Markov cachés (en anglais HMM) dans le domaine de la reconnaissance des formes (suite aux travaux de Baum sur les processus markoviens). L'hypothèse sous-jacente à ces modèles est qu'un signal de parole (mais aussi tout autre processus à évolution tem-

porelle) peut très précisément être décrit à l'aide d'un diagramme de Markov à états pour caractériser l'évolution temporelle, et un mélange de fonctions gaussiennes pour caractériser les propriétés des objets étudiés (par exemple, dans le cas du signal de parole, ses propriétés spectrales). Les HMM sont omniprésents dans de nombreux domaines de l'intelligence artificielle (IA) et cet article a eu une influence majeure sur les thèmes de recherche de mon équipe comme sur ceux d'un grand nombre d'équipes dans le monde.

- G. E. Hinton, S. Osindero and Y.-W. Teh (2006) *A fast learning algorithm for deep belief nets* [2]

Cet article de G. Hinton et son équipe à l'Université de Toronto a été à l'origine du renouveau des réseaux neuromimétiques. Avec les travaux de Y. Le Cun sur les réseaux convolutionnels, ils ont conduit aux réseaux profonds et aux algorithmes d'apprentissage associés (Deep Learning).

### Aperçu de mon domaine de recherche

Les réseaux neuronaux profonds ont conduit à une situation paradoxale. D'une part, leur introduction a conduit à des niveaux de performance inégalés qui ont valu une couverture médiatique sans précédent :

- Dans le domaine des jeux : échecs, Go.
- En aide au diagnostic : médical, industriel, etc...
- En reconnaissance automatique de la parole. La conjonction HMM-réseaux neuronaux profonds conduit à des taux de reconnaissance proches de l'humain (annonce ré-



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

cente de Google) et fait le succès des assistants personnels vocaux.

- En traitement de la langue naturelle : systèmes de questions-réponses, traduction.
- En robotique : robots autonomes, robots de compagnie, voiture sans chauffeur.
- En traitement d'images : diagnostic d'images médicales (radio, IRM, etc.), reconnaissance de l'écriture, reconnaissance de visages, télédétection, etc.
- En biologie, notamment pour le traitement des séquences d'ADN.

Depuis quelques années, on assiste à un accroissement considérable des investissements privés en intelligence artificielle par les industriels du domaine : Google, Facebook, IBM, Microsoft, Amazon, Adobe, Yandex, Baidu, etc.

Cet engouement est lié à la convergence de trois facteurs :

- la conception des réseaux neuronaux profonds et des algorithmes d'apprentissage associés,
- la disponibilité d'énormes quantités de données nécessaires à l'apprentissage de tels réseaux (un aspect des Big Data...),
- l'évolution technologique qui a produit des processeurs dont la puissance est indispensable au fonctionnement des algorithmes d'apprentissage.

Les améliorations et les annonces de nouvelles performances proviennent pour l'essentiel des laboratoires de ces grands acteurs du domaine qui, par ailleurs, recrutent leurs collaborateurs parmi nos meilleurs doctorants... L'enthousiasme pour l'intelligence artificielle (ou plus précisément pour les réseaux neuronaux profonds!) est donc très grand, et sans exemple dans l'histoire de l'IA, avec toutes les exagérations et les promesses qui seront sans doute non tenues que cela implique. Cette inflation de promesses pourrait être très préjudiciable à notre discipline, comme cela s'est déjà produit dans le passé..., car, d'autre part, les

recherches dans tous les domaines de l'IA se poursuivent et sont presque totalement occultés par les réseaux neuronaux profonds. Or, on peut considérer que les progrès récents de l'IA ont été surestimés ou du moins mal compris. Ces progrès portent essentiellement sur la reconnaissance de formes ou de concepts, et non sur la compréhension proprement dit. Percvoir n'est pas comprendre. Des avancées importantes ont été faites en la matière, mais les recherches fondamentales doivent être poursuivies, nos systèmes étant encore en la matière bien en deçà de l'intelligence humaine ou animale. Simultanément, les travaux se sont amplifiés dans le vaste champ de l'apprentissage automatique, supervisé ou non, car il s'agit d'un domaine clé pour l'avenir de l'IA.

### **Le succès actuel des modèles numériques**

Les réseaux neuronaux profonds vont encore progresser dans les années à venir, mais leurs limites vont apparaître. Une amélioration de ces modèles pourrait provenir d'équipes de recherche pluridisciplinaire regroupant des spécialistes d'IA, de sciences cognitives et de neurosciences.

Parmi les évolutions nécessaires pour aller vers une IA forte, aux capacités cognitives accrues, trois domaines me paraissent fondamentaux :

- l'apprentissage dans tous ses aspects (supervisé, non supervisé, par renforcement) et pas seulement relatif aux réseaux neuronaux, en lien avec la simulation des phénomènes considérés (courant pour les jeux, indispensable pour les domaines à risques, tels que la voiture autonome),
- la compréhension de formes et de situations : modélisation du bon sens et modélisation prédictive du monde, mécanismes d'interprétation fondés sur des ontologies et d'autres types de connaissances, ...





- la coopération humain-machine. La plupart des systèmes d'IA ne sont pas destinés à remplacer des humains, mais plutôt à coopérer avec eux pour optimiser les performances. La recherche doit tendre à créer des modes d'interaction et de dialogue aussi efficaces que possible.

Enfin, la crainte de voir les systèmes d'IA échapper au contrôle humain et prendre le pouvoir me paraît infondée. En revanche, les travaux et les réflexions sur le transhumanisme, l'homme augmenté, la singularité technologique nécessitent d'amplifier la réflexion sur les aspects éthiques et sociétaux de la recherche en IA, ainsi que son enseignement. C'est l'être humain et son éthique qui doivent limiter les pouvoirs des systèmes d'IA, de même que leur utilisation frauduleuse : protection des données personnelles, pouvoir léthal des robots, etc.

Nos valeurs fondamentales comme la liberté, la sécurité, l'intérêt collectif, la dignité de la personne doivent être prises en compte pour harmoniser les différents systèmes de valeurs que l'on peut trouver dans le monde. Le

rôle du pouvoir politique est à ce niveau irremplaçable.

La réflexion sur l'éthique des machines est également essentielle. Le projet Moral Machine du MIT me paraît un premier exemple intéressant. C'est notre rôle de chercheur et d'enseignant en IA de prendre en compte ces aspects, mais également de savoir pondérer les promesses exagérées que l'on voit fleurir ici ou là, tout en poursuivant les recherches fondamentales et appliquées... Moyennant quoi je suis optimiste sur l'avenir de l'IA et sur ses progrès pour la décennie à venir.

## Références

- [1] J. Baker. Stochastic modeling for automatic speech recognition. In D.R. Reddy, editor, *Speech Recognition*. Academic Press, 1975.
- [2] S. Osindero G. Hinton and Y.-W. Teh. A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural Comp*, 18 :1527–1554, 2006.
- [3] A. M. Turing. Computing machinery and intelligence. *Mind*, 49 :433–460, 1950.

## ■ Yves KODRATOFF : Apprentissage et IA

LRI/Orsay

**Yves KODRATOFF**  
ECCAI Fellow en 1999  
[yvekod@gmail.com](mailto:yvekod@gmail.com)

### Les articles qui m'ont marqué

Les contributions qui m'ont le plus marqué sont au nombre de trois : celle de Laurière [4], celle de Mitchell [5] et celle de Bratko, Mozetič et Lavrač [1].

Après avoir passé un doctorat en physique à Lyon, j'ai rejoint en tant que chargé de recherche au CNRS le laboratoire d'informatique de l'université Pierre et Marie Curie en 1976.

Le hasard a fait que le premier « séminaire » du laboratoire était, en fait, la soutenance de la thèse d'état de Jean-Louis Laurière qui présentait son système ALICE [4]. Je me suis toujours plutôt intéressé aux problèmes liés à l'apprentissage automatique mais j'ai été ébloui par les résultats qu'il avait obtenus. Ceci d'autant plus que j'ai appris peu de temps ensuite qu'ALICE avait résolu un des problèmes qu'un théoricien du laboratoire n'était pas arrivé à résoudre : un



intéressant parallèle au test de Turing qui souligne l'aspect de compétition entre l'humain et l'IA.

La 8<sup>e</sup> IJCAI a eu lieu à Karlsruhe et j'ai assisté à la conférence de Tom Mitchell [5] associée à sa récompense « Computer and Thought ». J'ai bien vu que Mitchell utilisait une technique de généralisation relativement simple, mais qu'il l'utilisait pour résoudre les problèmes d'un programme existant, lequel avait demandé des années de travail à la communauté IA. En France, à l'époque, non seulement nous manquions d'ordinateurs mais surtout de cette forme de collaboration entre équipes qui existait aux USA et qui permettait aux chercheurs de partager leurs résultats et d'obtenir des bases de données de la part de leurs collègues.

Ivan Bratko a lui aussi obtenu des résultats remarquables [1] que j'ai surtout connus en discutant avec lui au début des années 1980. Il utilisait la technique des arbres de décision, bien connue en apprentissage, mais il avait eu très tôt en main des données quant à la chirurgie du cancer de la thyroïde que l'on avait encore peine à détecter avec certitude. Opérer un patient n'ayant pas de cancer était évidemment une grave erreur médicale. Il a ainsi construit un système de reconnaissance de l'existence de cancers de la thyroïde dont il a comparé les résultats avec ceux d'une base de données de résultats obtenus par des médecins. Intuitivement, ses résultats s'exprimaient ainsi : son système était battu par les « grands » praticiens, avait le même taux d'erreur que les « bons » praticiens et écrasait ceux des praticiens « normaux ». Même un peu trop intuitif, ce résultat de la fin des années 70 illustre encore les relations tendues entre IA et intelligence humaine. Remarquons que, sans penser à mal, Bratko avait divisé les humains en trois catégories de compétence médicale par rapport à une machine, ce que beaucoup considéreraient comme

inadmissible.

## **Aperçu de l'état actuel de mon domaine de recherche**

Depuis quelques années, il me semble que nos problèmes se soient inversés. Alors que nous avons beaucoup souffert de l'impossibilité d'avoir accès à des données, le problème me semble maintenant celui d'un « excès » de données, en ce sens qu'on applique maintenant des techniques d'IA (ou on affirme qu'on l'a fait) à quantité de données réelles. Il est clair que cet excès un peu ridicule tient plus de la publicité que de la recherche. Cependant, il est aussi évident que cet accès aux données, même s'il est un peu désordonné, va nous permettre de qualifier ou de disqualifier de façon plus objective les axes de recherche de l'IA. Toutes les techniques (trop) bien adaptées aux données « jouet » seront rejetées beaucoup plus facilement que dans le passé. Inversement, la recherche fondamentale qui ne peut pas encore brasser des masses de données risque de souffrir... mais pas plus que lorsque (1975-1990) nous vivions dans un monde où, pour certaines de nos instances dirigeantes, l'IA était encore une « présience », au même titre que l'alchimie a été une présience pour la chimie.

Un des arguments qui nous a été opposé était l'échec partiel de l'IA à satisfaire au test de Turing. Il est exact que, lorsque des expériences mettant en compétition des humains ont été réalisées, les systèmes de gestion de bases données se sont montrés plus efficaces que les approches fondées sur l'IA. Cependant, il me semble que « comparer le comportement d'une machine et celui d'un humain » est biaisé par le fait que les humains sont tellement différents les uns des autres quant à leurs connaissances qu'il faudrait créer des programmes spécifiques pour chaque humain, une tâche inutile pour l'ensemble de l'humanité, mais entreprise avec succès dans le but d'adapter la ma-



chine à chacun de ses utilisateurs. Dans ce cas, on constate effectivement que la machine est considérée comme humaine (ou même mieux considérée, au point de créer une relation pathologique). De plus, à mon sens, le test de Turing a très bien fonctionné, mais de façon inattendue. Au cours des expériences réalisées pour tenter de réussir ce test, on s'est aperçu que certains humains avaient été pris pour un ordinateur : on a bel et bien confondu le comportement de la machine avec celui d'un humain, ce qui était l'essence du test de Turing qui n'exigeait pas un « pour tout » mais un simple « il existe ».

## Perspectives

La crainte la plus souvent exprimée est que les robots finissent par remplacer les humains. Il me semble qu'il serait sage de se prémunir d'abord contre un autre danger : celui d'une sorte de suicide de l'humanité parce que chaque individu humain préférera vivre avec un robot plutôt qu'avec d'autres humains. En tout cas, ceci a bien commencé, non pas à cause de l'IA seulement mais à cause de la « technification » de tout notre environnement. Malgré les immenses progrès réalisés ces dernières années par les neurosciences, nous connaissons encore mal comment sont représentées les connaissances humaines. Par exemple, il serait sans doute très utile de comparer nos représentations informatiques des connaissances à la représentation évolutive des connaissances humaines qui passent par une période d'opposition entre conscient et inconscient avant de tendre, chez l'individu sain d'esprit, vers leur forme « individuée », selon la théorie de Carl Jung.

Les problèmes liés à la conscience de soi, des autres, de la conscience d'avoir conscience mériteraient d'être traités, au moins celui de la conscience de soi qui manque si cruellement aux robots. Le problème de la créativité est

aussi un des problèmes majeurs qui restent à résoudre pour l'IA.

Il existe de nombreux types de créativités différents et chacun d'entre eux mérite d'être répertorié et de recevoir un traitement particulier. Du point de vue strict de l'IA, la créativité se manifeste par la mise en évidence, puis la construction d'une solution, des problèmes non résolus dans les logiciels d'IA. Dans le but de (commencer à) modéliser la créativité d'un informaticien qui arrive à résoudre un problème qui lui semblait jusqu'alors inabordable, il me semble qu'il est nécessaire de se poser cinq problèmes, tous étroitement liés les uns aux autres.

En collaboration avec Marta Franova, nous avons récemment travaillé [2, 3] sur ce sujet à ce que nous appelons l'Émergence Systémique. Elle est réalisée par un système de pensée complexe qui a la forme d'un système de résolution de problèmes.

Elle tourne autour de cinq concepts qui sont symbiotiquement reliés : symbiose (qu'il ne faut pas confondre avec la synergie), récurrence, incomplétude, pulsation et système dit « déductif ». Elle est destinée à créer des systèmes symbiotiques dans des environnements incomplets.

1. Un système est dit symbiotique lorsque chacune de ses parties est symbiotique à toutes les autres, c'est-à-dire que si on enlève une seule de ces parties, alors le système entier soit arrête de fonctionner, soit donne des résultats sans rapport avec ceux qui étaient attendus (dans la réalité technologique).
2. Il est clair que la description d'un système symbiotique nécessite un très grand nombre de relations entre ses parties ce qui est en soi un problème à résoudre. La récurrence est un outil de choix pour être capable d'aborder ce dernier problème.
3. Le système étant incomplet au départ, il est aussi clair que notre but est de le compléter



jusqu'à ce qu'apparaisse une solution suffisamment complète pour résoudre le problème posé. Le système va donc évoluer, en respectant les contraintes exprimées dans la spécification informelle du système ainsi que celles de « symbiosité ». Le modèle qui permet cette évolution a été appelé une pulsation. En pratique nous avons choisi deux paradigmes de résolution de problèmes dont l'usage en alternance permet de remplir les conditions que nous venons de définir.

4. Un système spécifié de façon informelle, et que l'on désire formaliser suffisamment pour qu'il soit exploitable et informatisé, doit être progressivement formalisé jusqu'à ce qu'il respecte les intentions sous-jacentes aux spécifications informelles. Dans la droite lignée de l'intelligence artificielle telle que nous l'avons pratiquée dès les années 1975, cette formalisation prend en compte les informations sémantiques connues par les créateurs de la spécification informelle. Ceci suppose qu'il existe, au moins en tant que « vision technologique », un modèle exploitable dans la réalité technologique.
5. Un système (simplement) « déductif », par contraste avec un système formel, ne s'appuie pas sur une description axiomatique dépourvue de sémantique, mais il s'appuie sur un modèle connu exploitable dans la réalité technologique et donc il travaille seulement avec une complétude « utilisable ». Autrement dit, tous les problèmes de complétude qui sont essentiels pour les théories formelles ne sont pas pertinents pour les systèmes déductifs. Du fait que la spécification de départ soit informelle, le concepteur dispose de deux types d'information fournis par le « client ». L'un concerne un ensemble temporaire d'axiomes qui répondent partiellement aux exigences du client, mais dont la cohérence n'est pas certaine. L'autre représente les « désirs » intuitifs du client. Le pre-

mier travail du concepteur consiste à créer un système d'axiomes cohérent et pertinent pour les exigences du client, ce qui n'est pas immédiatement évident. Le concepteur peut alors avoir l'intuition que certains théorèmes vont lui permettre d'avancer dans la création d'axiomes cohérents et pertinents. Il va donc tenter de prouver ces théorèmes et, en cas d'échec, il doit démarrer un processus de « réparation des échecs » (au lieu de conclure à la valeur « faux »), un problème bien connu en IA, en particulier dans la communauté de la programmation logique.

Voici un exemple relativement simple d'un tel modèle : Il est bien connu que les entiers naturels ne constituent pas un système complet. Cependant, les axiomes de Peano, dans le système bancaire, sont considérés comme un système déductif (selon notre définition de « système déductif ») utilisable et non-ambigu car les objets qu'il manipule doivent être exploitables dans la réalité. Bien sûr de l'argent « disparaît », mais il est bien évident qu'il n'est jamais volé « pour rien » mais pour être exploité par les voleurs.

Vous trouverez les détails relatifs à ce travail dans les compte-rendus du congrès INTELLI 2017 [2] (où il a été honoré par un prix du meilleur article du congrès) et dans Cognitive 2018 [3].

## Références

- [1] Ivan Bratko, Igor Mozetič, and Nada Lavrač. *KARDIO : A Study in Deep and Qualitative Knowledge for Expert Systems*. MIT Press, 1989.
- [2] Marta Franova and Yves Kodratoff. [A Model of Pulsation for Evolutive Formalizing Incomplete Intelligent Systems](#). In L. van Moergestel, G. Goncalves, S. Kim, and C. Leon, editors, *INTELLI 2017, The Sixth International Conference on Intelli-*



- gent Systems and Applications, pages 1–6, 2017.
- [3] Marta Franova and Yves Kodratoff. *Cartesian Systemic Emergence - Tackling Underspecified Notions in Incomplete Domains*. In O. Chernavskaya and K. Miwa, editors, *Proc. of COGNITIVE 2018 : The Tenth International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications*, pages 1–6, 2018.
- [4] Jean-Louis Laurière. A language and a program for stating and solving combinatorial problems. *Artificial Intelligence*, 10(1) :29–127, February 1978.
- [5] Tom Mitchell. Learning and problem-solving. In *Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence (Computers and Thought Award Paper)*, August 1983.

## ■ Pierre MARQUIS : La compilation logique de connaissances

CRIL, UMR CNRS 8188 | Pierre MARQUIS  
Université d'Artois / Institut Universitaire de France | ECCAI Fellow en 2009  
[www.cril.fr](http://www.cril.fr) | [marquis@cril.fr](mailto:marquis@cril.fr)

### L'article qui m'a marqué

J'ai choisi de mettre en avant l'article « *Foundations of assumption-based truth maintenance systems : preliminary report* », co-écrit par Raymond Reiter (décédé en 2002) et Johan de Kleer, et publié dans les actes de la conférence AAAI en 1987 [9].

Pour commencer, quelques mots sur les auteurs de cet article, peut-être utiles pour les plus jeunes lecteurs, sans doute moins pour les autres, car il s'agit de deux grands noms de l'IA mondiale. Tous deux ont, en effet, réalisé des travaux pionniers dans des voies de recherche qui sont devenues rapidement des « autoroutes » de l'IA. Citons le *raisonnement qualitatif* et le *diagnostic à base de modèles* pour Johan de Kleer, et le *raisonnement non monotone*, en particulier la fameuse *hypothèse de monde clos*, mais aussi le *raisonnement par défaut* pour Raymond Reiter. Sans surprise, l'importance de leurs travaux leur a permis d'obtenir les récompenses les plus prestigieuses (Johan de Kleer a reçu l'« *IJCAI Computers and Thought Award* » en 1987 et Raymond Reiter

l'« *IJCAI Award for Research Excellence* » en 1993).

Dans cet article, les deux auteurs proposent une « reconstruction logique » et une généralisation des systèmes de maintien de vérité à base d'hypothèses (« *assumption-based truth maintenance systems* », alias ATMS) proposés peu de temps auparavant par Johan de Kleer [4]. Un ATMS est un outil de gestion des inférences réalisées par un système de raisonnement ou « raisonneur », qui tire des conséquences (qui prennent la forme de faits ou de contradictions) à partir d'un ensemble d'hypothèses donné. Le système de raisonnement fournit à l'ATMS une représentation de chaque inférence produite (sous forme d'une règle *hypothèses*  $\rightarrow$  *fait* ou d'une règle *hypothèses*  $\rightarrow \perp$  – appelée *nogood* – selon le cas). L'ATMS maintient pour chaque fait dérivé (et pour la contradiction  $\perp$ ) tous les sous-ensembles minimaux possibles d'hypothèses qui permettent de dériver le fait en question lorsque les hypothèses qui le composent sont supposées vraies. Ces ensembles



minimaux d'hypothèses sont appelés supports minimaux des faits correspondants.

La généralisation des ATMS proposée par Raymond Reiter et Johan de Kleer prend le nom de *clause management systems* ou CMS. Plutôt que de ne considérer que des faits ou des contradictions, il s'agit de considérer des requêtes prenant la forme de clauses propositionnelles (les règles prises en compte dans les ATMS sont des clauses particulières, dites de Horn). Les représentations des inférences réalisées par le raisonneur prennent également la forme de clauses. Les supports minimaux d'une requête clause  $C$  sont caractérisés logiquement comme les ensembles  $S$  de littéraux minimaux pour l'inclusion ensembliste tels que

- $\forall_{I \in S} \bar{I} \vee C$  soit une conséquence logique de la conjonction des clauses transmises par le raisonneur, et
- $\forall_{I \in S} \bar{I}$  n'en soit pas une.

La section 4 de l'article nous rapproche du sujet de la compilation logique de connaissances, avec son titre « *Interpreted vs. Compiled* ». Alors que le calcul des supports minimaux de requêtes clauseales à partir des clauses transmises par le CMS (approche interprétée) est coûteux (le problème est NP-difficile), les auteurs montrent qu'un pré-traitement consistant à calculer (et à maintenir au fur et à mesure de l'arrivée de nouvelles clauses en provenance du raisonneur) l'ensemble des *impliqués premiers* des clauses reçues permet de calculer efficacement (i.e., en temps polynomial) les supports minimaux de toute requête clauseale possible. Quand le nombre de ces impliqués premiers reste réduit et que le nombre de requêtes clauseales à prendre en compte est élevé, le compromis temps / espace réalisé par l'approche compilée fait sens (en particulier, le temps de compilation peut être compensé).

À titre personnel, cet article a constitué un tournant dans mes activités de recherche qui furent au départ centrées sur le raisonnement à

partir d'hypothèses (ma thèse a porté sur le sujet), ce qui expliquait mon intérêt d'alors pour cet article, pour inclure dès les années 90 la compilation logique de connaissances (qui est un des sujets auxquels je consacre beaucoup de mon temps de recherche encore aujourd'hui).

### **Aperçu de l'état actuel de mon domaine de recherche**

Depuis ces travaux fondateurs, la compilation logique de connaissances s'est constituée comme un domaine de recherche, primitivement à cheval entre la représentation des connaissances et la démonstration automatique. En quelques mots, il s'agit d'établir, d'étudier et d'évaluer des traductions entre formalismes de représentation, préservant tout ou partie de l'information disponible, et établissant des compromis temps / espace. On distingue typiquement des informations de deux types : celles qui n'évoluent pas souvent (par exemple, une base de connaissances), formant la dite « partie fixe » et celles qui changent souvent ou sont à considérer en nombre (par exemple, les requêtes), formant la « partie variable ». Il y a du sens à pré-traiter les premières (i.e., les compiler une fois pour toutes) lorsque le changement de formalisme effectué permet de traiter plus efficacement en terme de temps de calcul les instances à traiter du problème considéré partageant la même partie fixe. Ainsi, dans [9], le problème consiste à calculer les supports minimaux de requêtes clauseales possibles, ses instances sont structurées en une « partie fixe » formée par l'ensemble des clauses transmises par le raisonneur au CMS et une « partie variable », les requêtes clauseales possibles.

L'essentiel des premiers travaux, tant aux USA [10] qu'en Europe [5, 7] s'est focalisé sur les compromis temps / espace possibles pour un autre problème, celui de l'implication clauseale à partir d'une formule propositionnelle  $\Sigma$ , typiquement donnée sous forme normale



conjonctive (ou de façon équivalente le problème de la cohérence d'une telle formule une fois conditionnée selon une affectation partielle de valeurs de vérité aux variables). Il s'agit de déterminer si une clause  $\delta$  (ou plus généralement une formule sous forme normale conjonctive) est une conséquence logique de  $\Sigma$ . La « partie fixe » des instances est ici donnée par la formule  $\Sigma$  considérée et la « partie variable » par les clauses  $\delta$  possibles. La question clé était de déterminer comment calculer une structure de données logiquement équivalente à  $\Sigma$  (ou seulement équivalente pour certaines requêtes) et pour laquelle le test d'implication clauseuse peut être réalisé en temps polynomial (alors qu'il est coNP-complet quand l'entrée disponible est  $\Sigma$ ).

Les années qui ont suivi (fin des années 90, début des années 2000) ont vu l'émergence de généralisations de la problématique de la compilation logique de connaissances, selon plusieurs directions. « L'école italienne » (en particulier le regretté Marco Cadoli - décédé en 2006, mais aussi Paolo Liberatore, Marco Schaerf) ont défini une notion de problème compilable dans une classe de complexité donnée [1]. Il s'agissait de séparer les problèmes de décision en deux parties (« fixe » et « variable ») pour lesquels un pré-traitement de la « partie fixe » assure que le problème résultant appartient à une classe de complexité donnée, de ceux ne partageant pas cette propriété. Aucune structure de données spécifique n'est considérée comme représentation de la forme compilée de la « partie fixe ». Le pré-traitement n'est soumis à aucune contrainte de temps (la fonction de compilation peut même être non calculable). En revanche, il est requis que la taille de la forme compilée produite soit polynomiale en la taille de la « partie fixe » (pour un polynôme fixé). Divers classes de compilabilité ont été définies et étudiées, des réductions adaptées et des problèmes complets pour les classes

et les réductions en question ont été identifiés. La compilabilité de divers problèmes considérés en IA a ainsi pu être déterminée [6]. Le cadre pour la compilabilité proposé dans ces travaux a ensuite été étendu dans plusieurs directions (voir par exemple [2]).

Alors que le concept de compilabilité s'applique à un problème spécifique mais ne pré-suppose rien des formes compilées (hormis la contrainte précitée sur leur taille), la direction abordée dans les travaux sur la carte de compilation [3] a pris un pli opposé : il s'agit de déterminer l'efficacité temporelle de langages de représentation de formes compilées, i.e., l'existence ou la non-existence d'algorithmes efficaces (i.e., en temps polynomial) pour diverses tâches élémentaires (appelées requêtes ou transformations selon leur nature). Le problème du test d'implication clauseuse constitue une des requêtes possibles, parmi une quantité d'autres, dont par exemple le problème du comptage des modèles (i.e., des affectations de valeurs de vérité aux variables qui rendent la formule considérée vraie). Un autre aspect important dans le choix d'un langage de compilation réside dans son efficacité spatiale, i.e., sa capacité relative à représenter de l'information en utilisant peu d'espace mémoire. Cette efficacité est étroitement liée à la notion de compilabilité déjà citée. Une carte de compilation constitue une évaluation multicritère de langages de représentation, permettant d'effectuer un choix informé d'un langage de compilation, selon les requêtes et transformations requises par l'application visée. La carte de compilation initiale pour la logique propositionnelle [3] a été largement étendue depuis son introduction, par l'ajout de nouveaux langages, de nouvelles requêtes et transformations (voir [8] pour quelques références bibliographiques à ce sujet).

D'autres directions ont consisté à aller au delà des connaissances stricto sensu pour don-



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

ner au sens du mot « connaissance » dans « compilation logique de connaissances » celui, beaucoup plus large, qu'il a déjà en représentation des connaissances. On s'est donc écarté des formules de la logique propositionnelle classique pour compiler, par exemple, des réseaux de contraintes, des formules modales de certaines logiques épistémiques ou doxastiques, mais aussi des réseaux bayésiens ou encore des réseaux de contraintes évalués. D'un point de vue sémantique, on est donc passé de la représentation d'ensembles de mondes propositionnels à celui d'ensembles de mondes tels mondes mais aussi à la représentation de distributions de probabilités ou encore de fonctions d'utilité.

Enfin, un effort notable a été dévolu ces dernières années à la conception et à l'évaluation de compilateurs et de raisonneurs opérant à partir de formes compilées (voir par exemple [beyondnp.com](http://beyondnp.com) et [www.cril.fr/KC/](http://www.cril.fr/KC/)). Ce développement logiciel a été fondamental pour permettre l'utilisation de la compilation logique de connaissances dans diverses applications, comme en configuration de produits combinatoires pour offrir des garanties de temps de réponse (les configurateurs de véhicules automobiles proposés par plusieurs constructeurs, comme Renault ou Toyota, s'appuient ainsi sur des langages de compilation).

## Perspectives

Toutes ces avancées ont conduit à un essor important de la thématique de la compilation logique des connaissances. Objet de recherche relativement confidentiel il y a 25 ans, il intéresse aujourd'hui une communauté scientifique beaucoup plus large qu'à ses débuts puisque celle-ci va maintenant de la représentation des connaissances et des contraintes, à l'apprentissage, aux bases de données, à la vérification formelle, sans oublier l'informatique théorique (la liste des participants au dernier séminaire

Dagstuhl centré sur le sujet [www.dagstuhl.de/17381](http://www.dagstuhl.de/17381) en témoigne assez clairement).

La communauté des chercheurs intéressés par la compilation logique des connaissances se structure depuis quelques années, tant en France qu'à l'étranger, par l'organisation de journées ou séminaires sur le sujet (voir par exemple [www.vcla.at/kc2015/](http://www.vcla.at/kc2015/) et [www.gdria.fr/journee-im-ia/](http://www.gdria.fr/journee-im-ia/)) ou encore via un site web communautaire ([beyondnp.org](http://beyondnp.org)). La compilation de connaissances constitue à ce jour un mot-clé de la plupart des conférences majeures d'IA. Des tutoriels portant sur la compilation sont fréquemment donnés dans ces conférences. Depuis quelques années, la compilation logique des connaissances est enseignée aux jeunes chercheurs (voir [www.cril.fr/acai15/](http://www.cril.fr/acai15/) et [researchers.lille.inria.fr/~fcapelli/research\\_school.html](http://researchers.lille.inria.fr/~fcapelli/research_school.html)), ce qui constitue un témoignage additionnel de la maturité et de l'importance du sujet.

En sus de modèles, études et algorithmes « sur papier », une palette d'outils logiciels est maintenant disponible. Il importe de continuer à développer la compilation logique des connaissances dans ses différentes facettes, à visée théorique ou plutôt tournée vers le développement de programmes, car c'est cette richesse qui lui permettra de poursuivre son essor, de mobiliser plus de chercheurs encore, et de trouver à s'appliquer dans des domaines qui s'étendent au delà de ses frontières actuelles.

## Références

- [1] M. Cadoli, F.M. Donini, P. Liberatore, and M. Schaerf. Preprocessing of intractable problems. *Information and Computation*, 176(2) :89–120, 2002.
- [2] H. Chen. Parameterized compilability. In *Proc. of IJCAI'05*, pages 412–417, 2005.
- [3] A. Darwiche and P. Marquis. A knowledge compilation map. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 17 :229–264, 2002.





- [4] J. de Kleer. An assumption-based TMS. *Artificial Intelligence*, 28 :127–167, 1986.
- [5] A. del Val. Tractable databases : How to make propositional unit resolution complete through compilation. In *Proc. of KR'94*, pages 551–561, 1994.
- [6] P. Liberatore. On the compilability of diagnosis, planning, reasoning about actions, belief revision, etc. In *Proc. of KR'98*, pages 144–155, 1998.
- [7] P. Marquis. Knowledge compilation using theory prime implicates. In *Proc. of IJCAI'95*, pages 837–843, 1995.
- [8] P. Marquis. Compile! In *Proc. of AAAI'15*, pages 4112–4118, 2015.
- [9] R. Reiter and J. de Kleer. Foundations of assumption-based truth maintenance systems : Preliminary report. In *Proc. of AAAI'87*, pages 183–188, 1987.
- [10] B. Selman and H.A. Kautz. Knowledge compilation using Horn approximations. In *Proc. of AAAI'91*, pages 904–909, 1991.

## ■ Jacques PITRAT : N'oublions pas l'IA forte !

*Membre de l'Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI)/European Coordinating Committee for Artificial Intelligence (ECCAI)*  
*Membre d'Honneur de l'AFIA*

**Jacques PITRAT**  
*ECCAI Fellow en 1999*  
*AAAI Fellow en 1994*  
[jacques.pitrat@wanadoo.fr](mailto:jacques.pitrat@wanadoo.fr)

### Un article qui m'a marqué

A. Newell, J.C. Shaw, and H.A. Simon. *A variety of intelligent learning in a general problem solving solver*. In *Self-Organizing Systems*, pages 153–189. Pergamon Press, 1960.

Le premier papier sur le General Problem Solving (GPS) a été publié en 1958. La recherche de la solution est guidée par l'application de règles liées à une différence entre l'état actuel et le but à atteindre. Pour chaque famille de problèmes, une table de différences indique les règles liées à chaque différence ; mais l'utilisateur de GPS doit établir une telle table pour chaque famille. Ce nouvel article veut montrer que l'on peut résoudre ce méta-problème (trouver une bonne table de différences pour une famille particulière) avec GPS lui-même : il suffit d'avoir une table de méta-différences qui guideront GPS dans la recherche de la table associée à chaque famille.

Les auteurs n'ont pas réussi à implémenter

ce mécanisme, ils ont fait seulement une simulation à la main de son fonctionnement. Bien des détails restaient à définir, mais ils ont tenté de mettre en œuvre une idée essentielle : *L'IA peut servir à réaliser des systèmes d'IA*.

### Une perspective à 100 ans

Depuis toujours, j'ai cru à l'IA dite « forte » mais, contrairement à l'IA dite « faible », nous n'allons pas voir son explosion dans les dix prochaines années. C'est pourquoi je prends une période de temps plus large. Par ailleurs, il est impossible de dire ce que sera l'IA, faible ou forte, même dans une époque assez proche. Je me rappelle mon premier contact en 1958 avec ce que l'on appelait alors les « machines à calculer ». Absolument personne n'imaginait alors ce qui existe actuellement ! Nous pensions seulement qu'elles étaient bien utiles pour résoudre des équations différentielles et faire des paies. Par contre, nous étions convaincus que ce serait un domaine important, et nous étions



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

désireux de participer à son développement. Ici, il en est de même : l'IA faible aura des conséquences aussi importantes que celles de l'informatique, celles de l'IA forte seront incroyables, mais nous ne pouvons les imaginer : nous ne sommes pas plus clairvoyants que les experts de 1958.

Nous ne devons pas nous braquer sur le problème de la prise de pouvoir par les systèmes d'IA, qui repose sur l'hypothèse discutable que les systèmes d'IA auront une intelligence analogue à la nôtre. L'évolution a favorisé les êtres qui avaient un comportement dominateur et agressif. Pourquoi donnerions-nous ce type de comportement à nos systèmes d'IA ? Mais il faudra quand même que nous nous fassions à l'idée de vivre avec des êtres plus intelligents que nous.

En effet, il ne faut pas se limiter à vouloir atteindre seulement les performances de l'intelligence humaine, c'est un but beaucoup trop restreint : il peut exister des formes d'intelligence bien plus efficaces que la nôtre. L'évolution nous a bien adaptés à chasser le lapin, mais elle ne nous a pas particulièrement entraînés pour beaucoup de nos activités actuelles, comme le jeu d'échecs, les mathématiques, la gestion d'une grande entreprise ou d'un pays, l'IA, etc. Il est par ailleurs possible qu'il existe des formes d'intelligence complètement différentes des nôtres ; ainsi, on s'est beaucoup intéressé aux intelligences collectives des insectes sociaux, où un groupe de nombreux éléments peu intelligents arrive à avoir globalement un comportement étonnant.

Donc, dès à présent, nous pouvons envisager des intelligences qui n'auraient pas nos handicaps : notre mémoire de travail n'a qu'une capacité d'environ 7 éléments, la plupart des mécanismes qui sont exécutés dans notre cerveau sont inconscients, nous ne pouvons donner aux autres humains qu'une infime partie de nos connaissances, nos neurones fonctionnent

lentement, nous ne pouvons ni remplacer, ni ajouter des modules à notre cerveau, nous ne pouvons nous dupliquer, etc.

L'apparition d'une nouvelle capacité entraîne une discontinuité, cela s'est produit au cours du développement de l'intelligence chez les êtres vivants. Par exemple l'apparition de la conscience réflexive a révolutionné nos possibilités en apprentissage : nos ancêtres ont pu connaître certaines des étapes de leurs raisonnements, déceler celles qui sont erronées et ainsi y remédier. L'IA pourra faire apparaître d'autres discontinuités.

Au fond l'IA est la science la plus facile et la plus difficile qui existe. Elle est la plus facile, car arriver à un niveau d'intelligence comme le nôtre, ce n'est pas très difficile. Elle est la plus difficile, car c'est avec notre intelligence limitée qu'il faut le faire. Il en résulte qu'il va falloir que nous nous fassions aider. Les seuls mécanismes intelligents qui peuvent nous aider sont les systèmes d'IA : nous devons donc bootstrapper l'IA. Le bootstrap est une technique souvent utilisée pour le développement de notre civilisation : ainsi, nous ne pourrions concevoir les ordinateurs actuels si nous n'avions pas d'ordinateurs. Les deux principaux écueils du bootstrap sont la difficulté à le mettre en œuvre et sa lenteur. Il ne faut donc l'utiliser que pour des problèmes extraordinairement complexes ; tout le monde est convaincu que l'IA forte en est un.

Nous allons examiner quelques capacités des systèmes d'IA, capacités dont nous sommes partiellement ou totalement privés ; elles seront bien utiles comme éléments d'une intelligence supérieure. Naturellement, je ne mentionne pas l'augmentation de la vitesse des puces informatiques et de la taille de la mémoire de travail car elles sont depuis longtemps utilisées. Je parlerai plutôt des aspects qui sont encore à améliorer :

- *Avoir toutes les connaissances et méta-*



*connaissances des systèmes d'IA sous forme déclarative*; par conséquent, ils pourront examiner leur savoir et le modifier aisément. Naturellement, il faut savoir aussi les proceduraliser pour les utiliser efficacement, il ne suffit pas de pouvoir les regarder.

- *Avoir une super-conscience réflexive.* Il n'est pas possible d'observer totalement ce que l'on fait, en particulier quand il s'agit de s'observer en train de s'observer : cela conduirait à une ascension souvent sans intérêt. Mais un système d'IA peut observer sans limitation ce qu'il a décidé d'observer. Il passe du mode rapide au mode examen seulement quand les critères désignant ce qu'il veut examiner sont remplis; le reste du temps, l'exécution se fait normalement. Contrairement à nous, il n'existe pas pour un tel système de fonctionnement qui ne puisse devenir conscient.

Un système peut donc connaître toutes les étapes qu'il a suivies, y compris les raisons pour lesquelles il a fait (ou pas) tel ou tel essai. En particulier, cela lui permet de méta-expliciter : à côté de l'explication qui indique toutes les étapes qui justifient une solution, il peut indiquer les raisons pour lesquelles il a choisi de faire ces étapes. J'ai personnellement souffert d'un manque de méta-explications lors de l'enseignement des mathématiques : pourquoi a-t-on l'idée de considérer  $n! + 1$  pour montrer qu'il y a une infinité de nombres premiers? Mais, pour nous humains, ce n'est pas facile à faire : même celui qui a trouvé une solution ne sait pas toujours pourquoi il l'a trouvée.

- *Mémoriser pendant qu'il travaille.* Si nous voulons mémoriser le cours de nos pensées, nous le perturbons. Souvent nous avons une excellente idée au cours d'une réflexion; si nous voulons la noter, nous n'arrivons pas à repartir; si nous préférons ne pas nous interrompre, une fois que nous avons fini, nous

n'arrivons pas à la retrouver. Un système d'IA peut s'arrêter, examiner l'état de tous ses paramètres, voir quelles connaissances sont utilisées, mémoriser tout ce qu'il veut, et repartir comme s'il ne s'était jamais arrêté. A la fin, il peut examiner ce qu'il a noté, et en déduire des informations précieuses pour apprendre, ou pour décider de faire d'autres essais.

- *Créer un être artificiel identique.* Nous savons l'importance qu'ont pour les psychologues les vrais jumeaux. Un système d'IA peut avoir autant de clones qu'il veut et soit les mettre dans des contextes différents, soit étudier de légères variantes dans le même contexte. Cela lui permet d'identifier les éléments essentiels du système. Il peut aussi prendre des risques, si un système est détruit dans une expérience malheureuse, il peut repartir avec une copie. Le refus du risque est une restriction parfois justifiée pour les hommes (le fameux principe de précaution), mais il empêche de faire des expériences très utiles. Un joueur d'échecs qui ne veut jamais perdre ne sera jamais un très bon joueur.
- *Se modifier.* Nous ne pouvons pas incorporer dans notre cerveau un module spécialisé pour les mathématiques, ou remplacer un de nos modules qui nous incite trop à procrastiner. Il ne s'agit pas seulement de changer nos connaissances, mais aussi nos méta-connaissances qui décident des méthodes que nous employons. Une fois proceduralisées, elles conduisent à avoir un comportement complètement différent. Par contre, un système d'IA peut changer n'importe lequel de ses modules (y compris ceux qui remplacent les modules), et utiliser immédiatement ce nouveau module. Toutefois, avant de le faire, il est bon d'utiliser la possibilité vue au paragraphe précédent et de faire une sauvegarde.

Je n'ai donné que quelques exemples de ce



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

qu'un système d'IA peut faire. Bien qu'étant convaincus de l'intérêt de ces capacités, nous avons des difficultés à les utiliser efficacement, car nous, humains, ne pouvons pas servir de modèle : nos propres possibilités sont trop restreintes, voire inexistantes.

Il est laborieux de réaliser un système qui arrive au niveau de notre intelligence, il est encore bien plus difficile de l'amener à des niveaux supérieurs. Il est fort probable que notre intelligence est insuffisante pour cela. J'ai appris durement qu'il n'est pas facile d'écrire des règles qui créent des règles qui créent des règles. Nous avons vu qu'il faut l'aider en collaborant avec les systèmes d'IA actuels, et surtout avec les futurs qui seront améliorés dans ce processus.

Pour cela, j'ai commencé avec une famille de problèmes aussi générale que possible, où l'on doit satisfaire un ensemble de contraintes. Une première direction de progrès est d'augmenter la généralité des problèmes traités. Par exemple, au départ les variables peuvent prendre seulement un nombre fini de valeurs possibles. Dans l'étape suivante, elles peuvent avoir un nombre infini de valeurs possibles.

Une deuxième direction est d'augmenter la déclarativité des connaissances et des méta-connaissances. Il est rare d'avoir des connaissances vraiment déclaratives comme « L'article s'accorde en genre et en nombre avec le nom auquel il se rapporte ». Dans cette phrase, on n'indique pas quel va être son mode d'emploi, par exemple quand et comment on va l'utiliser. Pour des raisons d'efficacité, nous sommes amenés à inclure, souvent de façon cachée, un peu de mode d'emploi dans les connaissances. Cela en rend la création, la compréhension, et la modification beaucoup plus difficiles. C'est au système d'IA lui-même qu'il reviendra de définir totalement le mode d'emploi de ses connaissances et méta-connaissances. Il est indispensable de réduire progressivement la part du procédural dans les connaissances dont il

dispose.

Une troisième progression remplace les modules existants par des super-modules qui les créent. Tant qu'ils ne seront pas suffisamment généraux, il faudra remplacer également ces super-modules par des super-super-modules qui les créeront. Cette ascension n'est pas illimitée, on arrive toujours à des modules qui créent des modules de même nature qu'eux.

Il est des cas où l'ascension s'arrête très vite. Par exemple, quand on résout un problème défini par des contraintes, un méta-problème important est de découvrir s'il existe des symétries dans ses solutions ; cela se fait à partir d'une étude de son énoncé. Or, rechercher des symétries dans un énoncé de problème peut être défini par un ensemble de contraintes. Il n'est pas nécessaire de monter plus haut.

Malheureusement, bien des méta-problèmes que l'on rencontre en résolution de problèmes ne se définissent pas comme les problèmes que l'on rencontre habituellement en IA. C'est la difficulté rencontrée par Newell, Shaw et Simon pour l'article [1] cité en début de ce papier : trouver un bon ensemble de différences n'est pas une activité semblable à la résolution d'un problème logique. En particulier, on peut trouver une bonne solution, mais on n'a jamais la certitude d'avoir trouvé la meilleure solution. Il en est de même pour mon système CAIA (Chercheur Artificiel en Intelligence Artificielle) [2] quand il doit trouver une méthode pour choisir quels résultats intermédiaires il va garder pour les utiliser ensuite.

C'est difficile, mais on est aidé par la présence du système que nous sommes en train de booter : quand nous voyons ce à quoi il faut arriver, et quelles sont les faiblesses du système actuel, il est plus facile de créer une méthode qui arrive à l'améliorer. Les idées se bousculent dans une situation concrète ; en les essayant, nous séparons ensuite les bonnes des mauvaises, puis nous créons des modules qui vont



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

utiliser les bonnes idées. L'IA est une science expérimentale : nous ne pouvons pas découvrir devant une feuille de papier les difficultés souvent imprévisibles que l'on rencontrera. Devant un ordinateur qui nous indique impitoyablement toutes nos erreurs, c'est beaucoup plus facile.

Cette méthode fait progresser le système vers son but final. Il n'est pas évident que nous y arriverons un jour, car beaucoup d'intelligence humaine est nécessaire au cours d'un bootstrap. Mais même si nous n'y arrivons pas, nous aurons progressé en donnant à l'IA la possibilité de résoudre une partie des problèmes que nous avons actuellement à résoudre. L'expérience m'a montré que, quand j'arrivais à remplacer un module par un module créé par CAIA, le nouveau module avait souvent de meilleurs résultats que celui que j'avais réalisé au départ.

Nous avons ainsi un système dont la progression ne vient pas tant de ce qu'il donne de meilleurs résultats, mais de ce qu'il donne des résultats de qualité équivalente en utilisant moins de connaissances trouvées par des humains : nous voulons au fond arriver à faire disparaître toute connaissance d'origine humaine. Cela n'est pas très visible, seul l'auteur d'un système voit l'amélioration, cela ne se passe pas comme avec un programme normal d'IA qui a de meilleurs résultats au fur et à mesure que son auteur l'améliore. Cela introduit une difficulté fondamentale : dans un domaine scientifique, nous cherchons à évaluer la qualité des résultats obtenus. Mais ici, ce n'est pas la qualité des résultats qui augmente, mais la part de l'intelligence d'origine humaine qui diminue.

Une autre spécificité, le bootstrap déteste la perfection : il est inutile d'investir dans un module qui ne servira qu'une seule fois, pour produire le module qui le remplacera. Une fois exécuté, il n'est plus nécessaire. Or notre culture scientifique n'aime pas les imperfections.

Il en résulte qu'il faudra sans doute aban-

donner les méthodes rigoureuses qui ont conduit au développement de sciences comme la physique : elles sont évaluées d'après des publications jugées par des pairs. Les pairs ne peuvent juger un tel travail en regardant s'il a de meilleures performances : elles sont stables. Il ne peut non plus l'évaluer en examinant les connaissances et méta-connaissances du système : 14.000 règles pour CAIA, dont une importante partie a été créée par le système lui-même. Ce chiffre est bien inférieur à celui de systèmes futurs pour lesquels il sera pratiquement impossible d'exposer leur contenu et de le comprendre si on ne l'a pas créé. Il est souhaitable que les connaissances soient de plus en plus déclaratives, mais un grand ensemble de telles connaissances n'est pas toujours facile à dominer. Tout cela rendra difficile une évaluation des travaux réalisés au cours d'un bootstrap, que l'on ne peut vraiment juger que quand il est achevé.

En conclusion, même si l'on n'arrive pas au but final, qui est la singularité où l'IA se développerait toute seule, il faut s'engager dans cette voie. Des résultats intermédiaires peuvent être utiles ; ces systèmes seront plus généraux, et surtout plus intelligents, même s'ils ne sont pas encore capables, ni de nous remplacer totalement, ni de nous dépasser largement. Je ne suis malheureusement pas convaincu que cette voie recevra tout l'effort qu'elle demande : les succès prévisibles de l'IA faible n'inciteront pas à partir dans une autre direction dont les résultats ne seront visibles qu'à très long terme. Toutefois, il serait irresponsable de refuser de fournir l'effort nécessaire pour le développement de l'IA forte sous prétexte que c'est trop complexe.

## Références

- [1] A.Newell, J.C.Shaw, and H.A.Simon. A variety of intelligent learning in a general problem solving solver. In *Self-Organizing*



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

*Systems*, pages 153–189. Pergamon Press, 1960.

[2] Jacques Pitrat. *Artificial Beings - The conscience of a conscious machine*. ISTE, Wiley, 2009.

## ■ Henri PRADE : Un chemin de recherche en intelligence artificielle à la découverte de nouveaux cadres de formalisation

IRIT / ADRIA

**Henri PRADE**

CNRS, Université Paul Sabatier, Toulouse, France

ECCAI Fellow en 1999

[www.irit.fr/~Henri.Prade](http://www.irit.fr/~Henri.Prade)

[prade@irit.fr](mailto:prade@irit.fr)

### Quelques articles qui m'ont influencé

C'est sans doute à la fin de l'année de terminale, en 1970, que j'ai commencé à m'intéresser à la logique, avec l'idée confuse du rôle qu'elle pouvait jouer dans notre représentation du monde. C'est dans un « Que-Sais-Je? » [2] que j'en découvris les premiers éléments. Ce petit livre qui constituait une introduction relativement originale au sujet, recevait au moins deux passages qui devaient me marquer durablement : L'existence de logiques non-classiques, en particulier multivalentes, y était signalée en une demi-page (sans aucun développement technique), tandis qu'on y présentait par ailleurs le groupe des transformations des énoncés propositionnels découvert par Jean Piaget (et maintenant étroitement relié au cube des oppositions [4]). Cette demi-page fit gamberger mon esprit sur ce que pouvaient bien être les connecteurs multi-valués, me conduisant à retrouver les opérations min et max pour la conjonction et la disjonction et  $1 - (\cdot)$  pour la négation, avant de découvrir deux ans plus tard dans un livre d'introduction plus avancé de Robert Blanché [1] (pourtant plus ancien), que c'était bien sûr connu depuis longtemps. Cela me préparait à la rencontre avec la logique floue en 1976.

C'est cette année-là, alors que nous allions terminer la première année de nos thèses, que

Didier Dubois et moi entendîmes parler pour la première fois de l'idée d'utiliser les ensembles flous sans plus de détails, à l'occasion d'une note de recherche prospective (vraisemblablement perdue) en productique écrite par Lucas Pun, alors professeur à Bordeaux. La découverte, grâce à un ami, quelques semaines plus tard de l'existence du premier traité sur le sujet par Arnold Kaufmann [5] nous permit de convaincre nos encadrants de distraire un peu de temps pour aborder ces nouvelles idées et voir ce qu'on pouvait en faire. L'année d'après, Elie Sanchez, pionnier de l'étude des équations de relations floues, de retour de Berkeley, nous apportait le rapport technique de Lotfi Zadeh proposant une théorie des possibilités [9] qui devait paraître l'année suivante, et qui est vraisemblablement l'article que nous avons le plus cité depuis.

Par ailleurs, c'est à la suite d'un exposé mettant en avant la notion de dissimilarité analogique [8], que le souvenir, à 25 ans de distance, d'un article de l'anthropologue, linguiste et informaticien américain Sheldon Klein [6], devait m'entraîner, en compagnie de Laurent Miclet, puis de Gilles Richard et ensuite d'autres collègues, dans la formalisation logique des proportions analogiques et l'étude de leur intérêt en raisonnement et en apprentissage. Il est notable de constater que l'ar-



ticle de Klein, de part son style et sa forme, ne serait sans doute plus recevable aujourd'hui, surtout dans une conférence comme l'ECAI ! Cet article décrivait cependant une procédure permettant à partir de la description de trois items  $a, b, c$  en termes d'attributs booléens d'en obtenir un quatrième  $d$ , de façon à ce que les quatre items, attribut par attribut, soient en proportion analogique (c'est-à-dire qu'on puisse dire que «  $a$  est à  $b$  ce que  $c$  est à  $d$  »).

Ce que suggèrent ces anecdotes, c'est que les articles les plus inspirants sont souvent loin d'être les plus achevés, le plus important étant qu'ils ouvrent des fenêtres vers d'autres horizons, et c'est aussi que la recherche est une question de rencontres, de collaborations et d'amitiés.

### **Cadres de représentation entre logique et probabilités**

Les thématiques qui viennent d'être évoquées - logiques non-classiques, ensembles flous, possibilités, analogie - se situent en dehors des principales approches utilisées pour la représentation des connaissances en intelligence artificielle (IA), que sont les logiques classique et modales d'une part, et les probabilités d'autre part, qui dans les deux cas reposent sur des bases établies de longue date.

Comme nous le défendons, Didier Dubois et moi, depuis de nombreuses années, la logique et les probabilités, malgré leurs mérites et leurs capacités indéniables, peuvent dans certains cas se révéler insuffisantes pour certains problèmes, même si on essaie de les associer (ce qui n'est pas simple). C'est notamment le cas, dès qu'on est en présence d'incertitude épistémique, due à une méconnaissance partielle plutôt qu'à un phénomène de variabilité aléatoire. Là, des cadres de représentations intermédiaires entre logique classique et probabilités, comme les possibilités qualitatives ou les possibilités quantitatives (et plus généralement

les intervalles de probabilités [probabilité inférieure, probabilité supérieure]) prennent tout leur intérêt pour des problèmes de traitement de données incertaines, de fusion d'informations, ou d'analyse de risques. Avec le temps, les recherches sur ces cadres encore connus de trop peu de chercheurs, devraient faire leur chemin et avoir un impact plus significatif. On pourra consulter notamment les chapitres 3 et 4 du volume 1 de [7] sur ces questions.

### **Evolution de l'IA**

L'IA, se développe, depuis plus de soixante ans, dans une forme de continuité qui voit l'élaboration de modèles de plus en plus performants dans différents registres, tout en étant marquée par les engouements suscités par des succès spectaculaires donnant naissance à des booms médiatiques (systèmes experts dans les années 80, logique floue dans les années 90, apprentissage profond aujourd'hui). Ceci doit nous rappeler que l'IA n'est pas seulement une technologie innovante que les progrès rapides et constants de l'informatique sur plusieurs décennies permettent de mettre en œuvre à des échelles de plus en plus importantes, mais que c'est aussi une science, qui tient une place notable dans les sciences du traitement de l'information. On pourra consulter [7], s'il est besoin de s'en convaincre.

Depuis au moins trois décennies, les recherches en apprentissage et représentation de connaissances se sont le plus souvent développées indépendamment, pour ne pas dire dans une ignorance mutuelle. Les progrès à long terme en IA, devraient vraisemblablement se nourrir de nouvelles synergies entre ces deux grands domaines, autour, entre autres, de questions touchant au traitement de l'information incomplète, aux formats de représentation, et à l'explicabilité. Voir [3] pour un plaidoyer en ce sens.



## Références

- [1] Robert Blanché. Introduction à la Logique Contemporaine. Collection U2, Armand Colin, 1968.
- [2] Jean Chauvineau. La Logique Moderne. Que Sais-Je n°745, Presses Universitaires de France, Paris, 1969.
- [3] D. Dubois, H. Prade. Towards a reconciliation between reasoning and learning. A position paper. IJCAI Workshop « Learning and Reasoning », Stockholm, July 13-14, 2018.
- [4] Didier Dubois, Henri Prade and Agnès Rico. The cube of opposition : A structure underlying many knowledge representation formalisms. Proc. 24th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI'15), Buenos Aires, July 25-31, (Q. Yang, M. Wooldridge, eds.), AAAI Press, 2933-2939, 2015.
- [5] Arnold Kaufmann. Introduction à la Théorie des Sous-Ensembles Flous à l'usage des ingénieurs. Vol. 1 Eléments Théoriques de Base; Vol. 2. Applications à la Linguistique et à la Sémantique; Vol. 3. Applications à la Classification, et la Reconnaissance des Formes, aux Automates et aux Systèmes, aux Choix des Critères. Masson et Cie., Paris, 1973, 1975 & 1975.
- [6] Sheldon Klein. Culture, mysticism and social structure and the calculation of behavior. Proc. European Conf. on Artificial Intelligence (ECAI-82), Orsay, France, 141-146, 1982.
- [7] Pierre Marquis, Odile Papini, Henri Prade (eds.) A Guided Tour of Artificial Intelligence Research. Vol. 1 : Knowledge Representation, Reasoning and Learning; Vol. 2 : Artificial Intelligence Algorithms; Vol. 3 : Interfaces and Applications of Artificial Intelligence, Springer, 2018. A paraître.
- [8] Laurent Miclet, Sabri Bayouh, Arnaud Delhay, Harold Mouchère. De l'utilisation de la proportion analogique en apprentissage artificiel. Actes des Journées Intelligence Artificielle Fondamentale (IAF'07), Grenoble, 2-3 juillet 2007. <http://www.cril.univ-artois.fr/~konieczny/IAF07/actesIAF07.pdf>
- [9] Lotfi A. Zadeh. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. Memo UCB / ERL M77/12, Berkeley, 1977. Fuzzy Sets and Systems, 1 (1), 3-28, 1978.

## ■ Marie-Christine ROUSSET : Algorithmique du raisonnement à base de règles et d'ontologies

*Institut Universitaire de France/LIG  
Université Grenoble Alpes, Grenoble INP, CNRS, Inria  
<http://lig-membres.imag.fr/rousset/>*

**Marie-Christine ROUSSET**  
*ECCAI Fellow en 2005  
[Marie-Christine.Rousset@imag.fr](mailto:Marie-Christine.Rousset@imag.fr)*

### Articles qui ont influencé ma recherche

Au moins trois articles ont été des déclencheurs dans les orientations de mes travaux de recherche sur l'algorithmique du raisonnement

sur des données et des connaissances.

L'article fondateur de mes travaux de thèse est l'article [8] sur l'algorithme RETE au cœur de l'algorithmique des systèmes experts. L'ap-





port de cet article est de fournir une méthode simple et élégante d'optimisation du chaînage-avant. Le principe général d'un algorithme de type chaînage-avant est de construire étape par étape un raisonnement fondé sur des connaissances formalisées par un ensemble de règles pour déduire des conclusions ou décider d'actions à effectuer à partir d'une base de faits initiale fournie en entrée pour décrire une situation de départ ou un cas spécifique. L'algorithme naïf répète à chaque étape l'opération qui consiste à tester pour chaque règle si ses conditions sont unifiables avec des faits présents dans la base de faits de sorte que le déclenchement de la règle ainsi instanciée est susceptible d'apporter de nouveaux éléments au raisonnement. L'algorithme RETE évite de répéter les tests inutiles d'une étape à l'autre en « compilant » au préalable l'ensemble des patterns de condition et les règles en un réseau de nœuds-tests, nœuds-mémoire et nœuds-jointures, puis en propageant chaque fait (initial ou déduit) dans ce réseau. Le réseau construit et exploité par RETE peut être vu comme un index inversé des patterns de condition vers les règles. La propagation d'un fait (décrit par un type et un ensemble de paires attribut-valeur) consiste à la transmission du fait d'un nœud-test à ses successeurs si le test élémentaire (du type ou d'une valeur pour un attribut) pris en charge par le nœud-test est positif. Quand un fait atteint un nœud-mémoire, c'est qu'il est unifiable avec le pattern de condition correspondant : l'unification est stockée dans ce nœud-mémoire, et elle est aussi propagée vers les nœuds-jointure successeurs de ce nœud-mémoire pour effectuer les tests correspondant aux jointures de cette condition avec d'autres conditions dans le corps de certaines règles. Dès lors qu'un test est négatif, la propagation s'arrête. Quand la propagation d'un fait atteint un nœud de sortie du réseau c'est qu'il permet un nouveau déclenchement d'une

règle qui devient une règle candidate.

Cette approche de chaînage-avant par propagation de faits a fortement inspiré et influencé mes travaux de thèse [12, 6] qui portaient sur une approche mixte combinant propagation de faits et chaînage-arrière pour raisonner sur des règles en présence d'informations incomplètes de façon interactive avec un utilisateur interrogeant un système expert. Les principes de l'algorithme RETE ont été repris dans la plupart des raisonneurs à base de règles existants, même les plus récents puisqu'ils sont à la base du moteur de règles disponible dans l'environnement Jena [10] pour raisonner sur des données en format RDF [2] qui est un standard W3C pour décrire n'importe quelle ressource du Web.

L'article déclencheur du tournant de mes travaux de recherche vers les logiques de description et les ontologies est l'article [4] sur KL-ONE. KL-ONE est un langage de représentation de connaissances structurées qui permet de spécifier à l'aide de constructeurs adaptés les classes (appelées concepts) et les relations binaires (appelées rôles) décrivant la terminologie d'un domaine d'application. Cet article est le précurseur des nombreux travaux sur les logiques de description [3] qui ont permis de comprendre de façon très fine l'impact de l'interaction entre certains constructeurs sur la décidabilité et la complexité du raisonnement sur les ontologies. Ces travaux ont été déterminants pour définir les différents profils du langage OWL [1] recommandés par le W3C pour structurer et raisonner sur les données du Web.

L'article [11] a été déterminant pour inscrire dans un cadre théorique unificateur mon ouverture vers des problématiques liées au traitement de données hétérogènes. Cet article m'a fait prendre conscience que le problème de l'interrogation de données à l'aide d'un langage de requêtes est un problème de raisonnement dont la complexité varie selon le langage de re-



quêtes mais aussi selon les hypothèses et les contraintes qu'on pose sur les données, et les connaissances qu'on déclare sur leur schéma. Cet article introduit la notion clé de réécriture de requêtes en un ensemble de requêtes cibles (appelées des vues dans le domaine des bases de données) de sorte que l'ensemble des réponses à la requête initiale est égal ou inclus (selon les hypothèses faites sur la complétude des vues) à l'union des réponses aux requêtes cibles. L'approche consistant à répondre à des requêtes par réécriture, initialement proposée pour optimiser le calcul de réponses par matérialisation de vues, s'est avérée très générale et particulièrement utile pour l'interrogation de sources de données distribuées et hétérogènes. Par opposition à l'approche « entrepôt de données », l'approche par médiateur pour l'intégration de données consiste à laisser les données dans les sources où elles sont stockées et à modéliser le contenu de ces sources comme des vues définies relativement à un schéma global (appelé aussi schéma médiateur) servant de point d'entrée pour l'expression des requêtes des utilisateurs. L'algorithmique pour l'évaluation de requêtes dans ces systèmes à base de médiateur s'enracine dans les résultats de [11] et a donné lieu à un grand nombre d'articles et de systèmes d'intégration d'informations comme l'approche PICSEL [13, 9]. [11] est emblématique de la fertilisation croisée entre les problématiques du raisonnement sur des connaissances et de l'évaluation de requêtes sur des données. En particulier, l'approche par réécriture de requêtes a été revisitée dans le cadre des logiques de description et a donné naissance à de nouvelles logiques de description comme DL-Lite [5], pour lesquelles le problème de répondre à des requêtes sur des données décrites par des ontologies a de très bonnes propriétés algorithmiques garantissant le passage à l'échelle de données massives.

## Raisonnement sur des données

L'exploitation de connaissances pour mieux tirer parti de données disponibles en masse dans différents formats, modèles et systèmes est un domaine de recherche en plein essor à la croisée de la représentation de connaissances et des sciences des données. Le principal verrou est le développement d'algorithmes efficaces pour l'interrogation, l'intégration, l'analyse et le liage de données hétérogènes et de qualité variable. Différents langages logiques à base de règles ou de logiques de description sont proposés et comparés en termes d'expressivité et de complexité du raisonnement associé. Ces travaux s'inscrivent dans le domaine de recherche émergent d'Ontology-Based Data Access et de nombreuses applications portent sur les données du Linked Data et du Web sémantique. L'évolution depuis les systèmes-experts est le poids pris par les données par rapport aux règles métier. Dans les applications d'aujourd'hui, le raisonnement est dirigé par les données et les ontologies de domaine ont remplacé les règles d'expertise. D'un point de vue algorithmique, la complexité en fonction des données est le critère principal qu'on cherche à minimiser, quitte à restreindre le pouvoir d'expression du langage de représentation de connaissances dans lequel sont exprimées les ontologies.

Le problème le plus étudié, dans lequel de nombreuses tâches complexes sur les données peuvent être reformulées, est celui de l'interrogation de données par l'intermédiaire d'ontologies. Exploiter les inférences associées à ces connaissances est central pour accéder aux données pertinentes pour le calcul des réponses aux requêtes, mais aussi dans tout le cycle de vie des données (acquisition, extraction, préparation, enrichissement, validation, analyse).



## Des connaissances au service de l'explication et de la transparence du traitement de données

Par rapport aux approches numériques comme l'apprentissage profond ou l'apprentissage statistique, le raisonnement symbolique sur les données, à base de règles ou d'ontologies, n'est aujourd'hui qu'une niche pour certaines applications. Cependant, l'approche symbolique, parfois appelée « Good Old Fashioned AI », pourrait bien revenir en force dans un avenir proche car elle est, par construction, bien mieux adaptée que les approches numériques pour expliquer les prédictions et décisions qu'elle produit comme résultats. En effet, lorsqu'une conclusion (par exemple, un diagnostic) est inférée par un ensemble de règles à partir de différentes sources de données, l'enchaînement des règles qui a amené à la conclusion proposée à l'utilisateur peut être fourni comme justification du résultat, accompagné de la provenance des données qui ont participé au raisonnement. L'aspect déclaratif de la représentation symbolique de connaissances est aussi un avantage pour favoriser la transparence des algorithmes de traitement de données.

De nombreux exemples récents ont montré que le liage de données peut entraîner la divulgation d'informations personnelles ou même sensibles. En même temps, une forte pression des citoyens de nombreux pays incite les scientifiques, les organisations, les collectivités et les gouvernements à publier et ouvrir leurs données par souci de transparence. Un certain nombre de travaux récents (dont [7]) proposent des solutions algorithmiques pour garantir que la publication dans le Linked Open Data d'un jeu de données est respectueuse de la vie privée tout en préservant une certaine utilité de ces données à des fins d'analyse.

## Références

- [1] Owl2 web ontology language profiles. <https://www.w3.org/TR/owl2-profiles/>.
- [2] Rdf : Resource description framework. <https://www.w3.org/RDF/>.
- [3] Franz Baader, Diego Calvanese, Deborah McGuinness, Daniele Nadri, and Peter Patel-Schneider. The description logic handbook :theory, implementations and applications. Cambridge University Press, 2003.
- [4] Ronald Brachman and James Schmolze. An overview of the KL-ONE knowledge representation system. *Cognitive Science*, 9(2) :171–216, 1985.
- [5] Diego Calvanese, Giuseppe DeGiacomo, Domenico Lembo, Maurizio Lenzerini, and Riccardo Rosati. Tractable reasoning and efficient query answering in description logics : The DL-Lite family. *Journal of Automated Reasoning*, 39(3) :385–429, 2007.
- [6] Marie-Odile Cordier and Marie-Christine Rousset. Interactive operators in expert systems. In *Proceedings of European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 84)*, 1984.
- [7] Rémy Delanaux, Angela Bonifati, Marie-Christine Rousset, and Romuald Thion. Query-based linked data anonymization. In *Proceedings of International Semantic Web Conference (ISWC 2018)*, to appear, 2018.
- [8] Charles Forgy. RETE : a fast algorithm for the many pattern/ many object pattern match problem. *Artificial Intelligence*, 19 :17–37, 1982.
- [9] François Goasdoué, Véronique Lattès, and Marie-Christine Rousset. The use of carin language and algorithms for information integration : the picxel system. *Inter-*



- national Journal on Cooperative Information Systems*, 9(4), 2000.
- [10] Apache Jena. <https://jena.apache.org/>.
- [11] Alon Levy, Alberto Mendelzon, Yehohua Sagiv, and Divesh Srivastava. Answering queries using views. In *Proceedings of ACM Symposium of Principles of Database Systems (PODS-95)*, 1995.
- [12] Marie-Christine Rousset. *TANGO : moteur d'inférences pour une classe de systèmes-experts avec variables*. PhD thesis, Université Paris 11, 1983.
- [13] Marie-Christine Rousset and Chantal Reynaud. Knowledge representation for information integration. *Information Systems International Journal*, 29(1), 2003.

## ■ Gérard SABAH : Traitement automatique des langues.

### Où en sommes-nous ? Où allons-nous ?

Directeur de recherche CNRS honoraire  
Membre titulaire de l'Académie des technologies

**Gérard SABAH**  
ECCAI Fellow en 2004  
[gsabah@free.fr](mailto:gsabah@free.fr)

Le traitement automatique des langues s'intéresse aux applications centrées sur la compréhension et la production du langage (traduction automatique, résumé automatique de textes, analyse de discours, filtrage des courriels, détection d'événements, commentaires des vidéos...) ou qui utilisent le langage pour communiquer (assistants vocaux, agents conversationnels) ainsi qu'aux théories qui les sous-tendent.

Après la première conférence sur la traduction automatique de 1952 [3], l'expérience Georgetown-IBM en 1954 déclenche véritablement l'approfondissement du sujet : IBM et l'Université de Georgetown ont créé le premier programme informatique capable de traduire une soixantaine de phrases du russe vers l'anglais, grâce à une machine surnommée « le cerveau ».

Malgré le rapport ALPAC de 1966 [2] qui souligne de façon très critique que les objectifs excessivement optimistes des débuts ne sont pas atteints, les travaux dans ce domaine se poursuivent, essentiellement au MIT. Ces premiers systèmes de traitement de la langue

(dans les années soixante) étaient fondamentalement des programmes de *manipulation de symboles*, qui supposaient que la connaissance de quelques mots et d'un nombre limité de règles syntaxiques suffisait pour exécuter certaines tâches utilisant le langage (en particulier répondre à des questions posées en anglais). Aucun problème complexe lié au langage n'est réellement abordé et la plupart de ces programmes ne fonctionnent que dans des domaines limités, comme BASEBALL [7], STUDENT [4] et ELIZA [16].

Il me semble qu'à cette époque, deux approches ont été marquantes et ont clairement relancé le traitement automatique des langues : celle de Winograd en 1972 [17] et celle de Schank en 1973 [14]. Alors que j'abordais le domaine du traitement automatique des langues, ils m'ont orienté vers une réflexion approfondie sur les questions de sémantique et de dialogue homme-machine.

### Dialogue en langue naturelle

SHRDLU de Winograd [17] est un programme qui simule le comportement d'un ro-



bot dans un monde clos composé d'une table sur laquelle sont posés une boîte et une dizaine de blocs de formes, de tailles et de couleurs diverses. Ce monde est simulé à l'écran et le programme possède toutes les informations sur la position et les caractéristiques de chaque objet.

Le système répond à des questions, exécute des commandes et accepte des informations dans une boîte de dialogue interactive en anglais. Il contient un analyseur, une grammaire de reconnaissance de l'anglais, des programmes d'analyse sémantique et un système général de résolution de problèmes. L'originalité du système est de faire collaborer ces modules, séparés physiquement, mais qui peuvent interagir à tout moment (ce qui était tout à fait nouveau par rapport au modèle en série, classique à l'époque).

En outre, les connaissances dans ce système sont représentées par des procédures, plutôt que sous la forme de règles ou de modèles. Dans ce système procédural, les connaissances sont donc contenues dans des programmes attachés à des tâches spécifiques, qui savent comment agir dans des situations précises. Le sens est alors la description des actions à réaliser pour trouver un objet correspondant à une expression linguistique. Un des intérêts de ce type de représentation est son unité et sa rapidité d'exécution, mais ces connaissances sont implicites dans les procédures compilées ; il est donc difficile d'y accéder et elles manquent de généralité.

À l'opposé, un système déclaratif est constitué d'une base de faits (propre à un domaine spécifique) et d'un module de déduction, le plus général possible, produisant de nouveaux faits. L'avantage est la modularité (il suffit de changer la base de faits pour traiter un autre domaine), et l'inconvénient est la lenteur d'exécution et la difficulté de gérer une base de faits complexe.

Par cette première distinction théorique

entre connaissances procédurales et déclaratives, Winograd a déclenché une controverse sur la meilleure façon de coder des connaissances.

### **L'importance primordiale du sens**

Durant les années soixante-dix, diverses expériences, dont MARGIE de Schank [14], visèrent à réaliser une analyse dirigée par la sémantique, la syntaxe restant implicite.

C'est ainsi qu'à contre-courant des travaux sur les syntaxes et les grammaires (Chomsky notamment), Schank propose une approche essentiellement conceptuelle de la compréhension des langues naturelles (« *Oublier les mots au profit des concepts...* »). Pour lui, la notion de dépendance conceptuelle reflète le niveau de pensée qui sous-tend le langage. Elle vise l'universalité en produisant une représentation indépendante de la langue de départ comme de l'application visée.

Ces représentations sont fondées sur des primitives sémantiques : onze concepts de base qui servent à décrire l'ensemble des actions possibles (« action », au sens large, recouvre des actions physiques, abstraites ou des actes mentaux). Ces derniers se fondent sur un modèle élaboré de la mémoire. La compréhension d'une proposition implique la reconnaissance de l'action de base correspondante, des concepts exprimés et des liens qui existent entre eux (rôles conceptuels).

Ces éléments de base sont complétés par des modalités et des relations de causalité, permettant de représenter des phrases plus complexes.

Cette controverse a donné lieu à d'autres modèles qui ont tenté de tirer parti des deux formes de représentation en les réunissant dans une même architecture et en y intégrant des connaissances sur le monde.



## Grandes évolutions suivantes

**Émergence des sciences cognitives en France.** Les travaux de l'époque se sont poursuivis dans le même esprit en développant des méthodes pour améliorer la prise en considération des aspects pragmatiques (représentation du monde et de la situation de communication). Tout en se poursuivant dans le domaine symbolique, elles restent toutefois limitées à des domaines spécifiques et d'une ampleur modeste, avec un léger déclin des applications réelles. Les efforts de généralisation et de validation par rapport aux sciences humaines ont suscité des collaborations efficaces entre diverses disciplines : l'étude de la langue (linguistique), et de son usage dans la communication (pragmatique, sociologie), l'étude des mécanismes intellectuels chez l'être humain (psycholinguistique, logique) et par celle des caractéristiques informatiques des programmes de simulation (informatique, intelligence artificielle, représentations et architecture), ce qui a entraîné le développement des sciences cognitives en France.

**Statistiques.** Dans les années quatre-vingt, essentiellement pour la reconnaissance de la langue parlée, des méthodes statistiques ont ensuite progressé efficacement ; elles ont été appliquées à la langue écrite dès les années quatre-vingt-dix, permettant de pallier le manque de robustesse des méthodes symboliques. Les raisons qui ont permis cette évolu-

tion sont principalement l'existence d'un grand nombre de textes numérisés, la baisse des prix de l'espace disque et le développement des méthodes d'évaluation des systèmes sur des données réelles.

Ainsi, le traitement automatique des langues a évolué des positions plutôt formalistes des investigations théoriques vers l'utilisation de techniques à base de statistiques (le traitement des grands corpus, la constitution de mémoires de traduction et les processus d'acquisition), où la compréhension (ou sa simulation) est moins présente et où une grande partie de l'interprétation sémantique reste du ressort de l'utilisateur humain.

**Apprentissage profond et masses de données.** Chaque jour, 2,5 trillions d'octets de données ( $2,5 \times 10^{18}$ ) sont produits avec une accélération telle que 90% des données actuelles dans le monde ont été créées au cours des deux dernières années seulement ! Ces gros corpus ont permis une amélioration considérable des programmes de traitement automatique des langues : ils montrent les difficultés qu'on rencontre dans le traitement de textes réels tout-venant (constructions spécifiques d'un domaine, particularités des textes techniques et scientifiques, etc.), ce qui a permis de développer des outils de traitement plus robustes. Ces masses immenses de données (*Big data*) sont essentiellement exploitées par des réseaux de neurones<sup>5</sup>.

L'apprentissage en profondeur (« *deep lear-*

5. Un réseau de neurones artificiels est constitué d'un ensemble d'entités interconnectées, chacune ayant des entrées et des sorties (valeurs numériques). Le comportement d'un neurone dépend de la somme de ses valeurs d'entrée (éventuellement pondérées par un poids synaptique, permettant de donner plus ou moins d'importance à ces entrées). Le principe de fonctionnement consiste, dans une première phase (apprentissage), à présenter aux neurones d'entrée les valeurs correspondant à de nombreux exemples, et aux neurones de sortie les valeurs respectives des résultats souhaités. Les règles d'apprentissage (permettant de faire évoluer les différents paramètres du réseau) miment la plasticité synaptique des réseaux biologiques. Ces paramètres déterminent l'évolution du réseau en fonction de ses informations d'entrée.

Après un nombre statistiquement pertinent d'exemples traités, l'apprentissage est terminé et le réseau peut être utilisé, dans une seconde phase, pour la reconnaissance. Comme il produit toujours une sortie, même pour des entrées non rencontrées auparavant, il a une capacité de généralisation.



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

ning ») a introduit dans ces réseaux une multitude de couches internes, et les réseaux de neurones convolutifs (des réseaux de neurones classiques, précédés d'un autre réseau qui extrait automatiquement des caractéristiques pertinentes) autorisent l'émergence de concepts intermédiaires pertinents pour la tâche envisagée et permettent d'opérer rapidement des classifications et d'apprendre à les améliorer. Leur élaboration et leur mise en œuvre sont dues à l'augmentation des puissances de calcul et à l'utilisation des puces graphiques en parallèle.

Particulièrement adaptés au traitement d'images, ces réseaux sont également utiles dans le traitement automatique des langues, particulièrement pour la transformation de textes en données numériques (en vecteurs par exemple, avec [Word2vec 2012](#) ou [GloVe 2014](#)) permettant d'introduire des informations sémantiques dans ces vecteurs de très grandes dimensions.

Ces réseaux se sont révélés très efficaces dans le traitement des dépendances temporelles locales, mais sont médiocres pour traiter des dépendances à longues distances. Une première amélioration a consisté à introduire une unité supplémentaire chargée de stocker les dépendances à long terme. Puis, en remplaçant, dans les réseaux de neurones convolutifs, les filtres 2D du traitement d'images par des filtres 1D pour le traitement des langues, ces modèles ont pu apprendre de plus en plus de caractéristiques abstraites, grâce au fait qu'un vecteur d'entrée (environ 300 dimensions) contient beaucoup plus d'informations qu'un seul pixel (d'où des réseaux moins profonds que pour des images).

Ils sont maintenant appliqués à l'analyse des sentiments et émotions décrits dans un texte [8], au résumé de textes [10], à la traduction [15], aux [systèmes de question-réponse](#) ou encore en génération (par exemple : [Wavenet](#)).

Néanmoins, ces évolutions récentes posent diverses questions scientifiques. Si les performances obtenues par les modèles neuronaux impressionnent souvent, les architectures déployées sont complexes à concevoir et à optimiser. La vision de ces modèles comme une boîte noire est problématique tant l'interprétation des résultats et la compréhension de ce qui est appris restent obscures. L'imprévisibilité des machines fonctionnant sur la base de l'apprentissage profond issu des données massives induit une perte de contrôle humain. L'autonomie des machines est donc à mettre en balance avec le contrôle que l'on veut conserver sur elles...

Par ailleurs, si les méthodes statistiques sont robustes et efficaces, elles sont moins fiables, n'offrent pas ou peu de possibilités d'explication et leurs résultats sont moins précis que ceux des méthodes symboliques, qui elles, en revanche présentent un certain manque de robustesse, et n'ont en général, pas de couverture très importante. Il est donc essentiel de les faire collaborer, ce qui constitue un des principaux défis scientifiques actuels pour le traitement automatique des langues. Une réflexion sur les architectures permettant au mieux une telle collaboration est nécessaire.

## Quatre phases du développement de l'IA

Très schématiquement, on peut considérer avec Alexandre en 2017 [1] une première phase de l'intelligence artificielle, depuis ses débuts, fondée sur la modélisation de raisonnements symboliques ; une deuxième phase a émergé récemment avec les résultats étonnamment bons de l'apprentissage profond des réseaux de neurones convolutifs appliqués aux données massives.

On peut envisager une 3<sup>e</sup> étape, vers 2030, quand on disposera d'une intelligence artificielle généraliste, capable de disposer d'une mémoire



proche de la mémoire humaine et de capacités d'adaptation au contexte et au problème.

Puis, plus tard (on ne sait pas trop quand, mais certains imaginent 2050), l'intelligence artificielle contiendra une conscience artificielle.

En ce qui concerne le langage, pour arriver à cette 3<sup>e</sup> étape, des approfondissements au sujet de l'*intention communicative* seront nécessaires : si les méthodes actuelles ont des résultats impressionnants et fonctionnent particulièrement bien sur les usages bien codifiés du langage où les mots sont utilisés avec leur sens littéral répertorié, il est nombre de situations où l'*intention communicative* n'est pas déterminée de façon unique par le sens littéral<sup>6</sup> d'un énoncé, ni conventionnellement codée dans la langue. Pour un auditeur, le sens est le résultat d'un processus complexe visant à essayer, non seulement de comprendre ce que dit le locuteur, mais pourquoi il le dit et quelle réaction il espère produire. Le sens n'est alors plus une entité bien définie, mais l'ensemble des indices qui guident l'interprétation.

Toutefois, la communication reste possible grâce à une connaissance des usages, un système de stratégies d'inférences commun entre un locuteur et son auditeur, débouchant sur la construction d'un cadre de référence commun, cadre qui ne peut que se construire dynamiquement par le dialogue lui-même en utilisant des connaissances sur la langue, mais aussi des connaissances générales sur le monde, sur la culture de celui qui parle, sur la situation de communication, sur la pratique des relations humaines... un ensemble de choses qui sont a priori indépendantes des connaissances linguistiques.

Pour un dialogue homme-machine où la

machine nous comprendra parfaitement, ces aspects devront être pris en considération et, à mon sens, ce type de compréhension ne pourra s'effectuer que grâce à une collaboration efficace entre méthodes symboliques, méthodes statistiques et apprentissage profond.

### Vers une conscience artificielle...

Dans les années quatre-vingt-dix, j'ai également découvert les livres d'Edelman [5, 6], ce qui a amené un changement d'orientation de mes recherches et m'a fait apparaître la 4<sup>e</sup> étape (une intelligence artificielle « consciente ») comme envisageable [13, 12].

Les conceptions d'Edelman (la définition d'une sémantique en termes de corrélations entre entrées sensorielles, concepts et symboles ; le modèle de la mémoire comme catégorisant des processus et non comme stockant des représentations ; et le rôle du langage dans les manipulations symboliques) rendent compte des relations fondamentales entre perception, action, langage, apprentissage et conscience. Sa thèse essentielle est que la pensée est un processus réflexif et récursif, conception qui est très proche de celle qui voit les éléments linguistiques comme des déclencheurs : un énoncé n'est pas une description objective d'un objet ou d'un état du monde, ni une commande destinée à être exécutée par l'auditeur, mais un programme précisant les modifications à produire par le système cognitif qui lui donne un sens. La correspondance entre l'énoncé et le monde décrit n'est ainsi plus centrale. Son modèle montre que les fonctionnalités nécessaires à l'émergence de la conscience permettent l'apparition d'un langage, lui-même autorisant la survenue d'une conscience de haut niveau.

6. Martin [9] cite l'exemple de la phrase toute simple : *je reviendrai*. À la fin d'une visite amicale, c'est une *promesse* ; dans la bouche d'un client, ce sera un *compliment* ; ce sera l'*avertissement* d'un policier s'adressant à un automobiliste mal garé ; une *menace* prononcée par un propriétaire qui n'a pas été payé ; une *prédiction* consolatrice d'un soldat qui part au front... Il est aussi des situations où nous voulons dire autre chose que le sens textuel de ce que nous disons (ironie, sarcasmes, métaphores et tropes en général...), et ce sont là des caractéristiques fondamentales et inévitables des langues humaines.





Ainsi, une réelle compréhension de la langue implique que devront être développés des modèles et des systèmes réflexifs aboutissant à la conscience, tout au moins à l'observation réflexive d'eux-mêmes. Cela leur donnera la possibilité d'expliquer son fonctionnement et ses décisions et d'apprendre à partir de ses succès comme de ses échecs. Les notions d'amorçage et de conscience seront également fondamentales pour l'apprentissage de métaconnaissances, comme l'a montré Pitrat [11].

Notons également que le traitement automatique des langues devra aussi aborder des questions éthiques comme : les limites de l'anonymisation, la protection de la vie privée et les risques liés à l'apprentissage des préférences des utilisateurs. . .

## Références

- [1] Laurent Alexandre. *La guerre des intelligences*. J.C. Lattès, 2017.
- [2] Automatic Language Processing Advisory National Research Council ALPAC. *Language and machines; computers in translation and linguistics*, 1966.
- [3] Yehoshua Bar-Hillel and Rudolf Carnap. *An outline of a theory of semantic information*. Technical Report 247, Research Laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 1952.
- [4] Daniel Bobrow. *Natural language input for a computer problem solving system*. *Semantic information processing*, 1968.
- [5] Gerald Edelman. *The remembered present : a biological theory of consciousness*. Basic Books, New York, 1989.
- [6] Gerald Edelman. *Biologie de la conscience*. Editions Odile Jacob, Paris, 1992.
- [7] Bertrand Green, Alice Wolf, Carol Chomsky, and Kenneth Laughery. *Baseball : an automatic question answerer*. *Computers and thought*, pages 207–216, 1960.
- [8] Zhao Jianqiang and Gui Xiaolin. *Deep Convolution Neural Networks for Twitter Sentiment Analysis*. *IEEE Access*, 2018.
- [9] Robert Martin. *Pour une logique du sens*. Presses universitaires de France, Paris, 1983.
- [10] Ramesh Nallapati, Bowen Zhou, Caglar Gulcehre, Bing Xiang, et al. *Abstractive text summarization using sequence-to-sequence rnns and beyond*. *arXiv preprint arXiv :1602.06023*, 2016.
- [11] Jacques Pitrat. *Artificial Beings - The conscience of a conscious machine*. ISTE, Wiley, 2009.
- [12] Gérard Sabah. *Consciousness : A requirement for understanding natural language*. *Two sciences of mind*, 9 :361–392, 1997.
- [13] Gérard Sabah and Xavier Briffault. *Caramel : a step towards reflexion in natural language understanding systems*. In *Actes IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, pages 258–265, 1993.
- [14] Roger Schank. *Identification of conceptualizations underlying natural language*. *Computer models of thought and language*, pages 187–247, 1973.
- [15] Mingxuan Wang, Zhengdong Lu, Jie Zhou, and Qun Liu. *Deep neural machine translation with linear associative unit*. *arXiv preprint arXiv :1705.00861*, 2017.
- [16] Joseph Weizenbaum. *Eliza - a computer program for the study of natural language communication between man and machine*. *CACM*, 9 :26–45, 1966.
- [17] Terry Winograd. *Understanding natural language*. Academic press, Edinburgh, 1972.



## ■ Thomas SCHIEX : Contraintes, incertitudes et modèles graphiques

UMIAT / Statistiques et Algorithmiques pour la Biologie  
Université de Toulouse, INRA, France  
[mia.toulouse.inra.fr](http://mia.toulouse.inra.fr)

**Thomas SCHIEX**  
EurAI Fellow en 2017  
[Thomas.Schiex@inra.fr](mailto:Thomas.Schiex@inra.fr)

### L'article qui m'a marqué

Difficile de choisir... Après plus de 30 années de recherche, fallait-il se focaliser sur les réseaux de contraintes et leurs algorithmes? ou sur l'intégration de préférences/coûts/probabilités à ces modèles?

J'ai donc pensé à cet article de R.M. Stallman et G.J. Sussman intitulé *Forward reasoning and dependency-directed backtracking in a system for computer-aided circuit analysis* paru dans *Artificial Intelligence* en 1977. En retournant le voir, j'y ai trouvé les phrases suivantes « The system notes a contradiction [...] The antecedents of the contradictory facts are scanned [...]. A short list of relevant choice-points eliminates from consideration a large number of combinations... ». Les ingrédients du cocktail moderne du solveur SAT ou CP, combinant analyse de conflit, recherche arborescente et propagation de contraintes sont déjà là. Nous avons mis 25 ans à transformer ces idées en des outils redoutables, ayant un impact significatif sur le monde réel, capables de résoudre tant d'instances significatives de problèmes pourtant NP-difficiles : transformation de conjectures mathématiques en théorèmes [9], vérification des processeurs que nous concevons [13], conception d'objets moléculaires au cœur du vivant [14]...

Qui aurait parié là-dessus il y a 41 ans, si ce n'est le petit cercle de spécialistes du domaine? Tout comme pour la rétro-propagation du gradient (qui remonte aux années 80), il

aura fallu des machines beaucoup plus puissantes, de nombreux travaux sur l'optimisation des algorithmes, des architectures et deux ingrédients cruciaux : une confrontation intense avec le monde réel (oui, là-aussi, des « data ») et des compétitions ouvertes de logiciels Open Source<sup>7</sup> sur ces dernières pour aboutir à des progrès marquant durablement.

Dans ce modèle très vertueux, toute bonne idée est immédiatement récupérable et améliorable par d'autres. Cela rend la gloire du vainqueur naturellement éphémère mais permet de globalement progresser bien plus rapidement.

### Mais où en sommes nous ?

Programmation par contraintes? Algorithmique des modèles graphiques discrets? Bio-informatique? Les applications de l'INRA nous forcent à sortir d'un domaine de recherche spécialisé, avec un corpus de connaissances, de résultats et de critères d'évaluations partagés.

Un réseau de contraintes, ou une formule SAT permet de décrire de façon factorisée une fonction booléenne comme la conjonction de propriétés d'intérêt impliquant un petit nombre de variables. Cette fonction sépare solutions et non-solutions. Charge au solveur (CP/SAT) de trouver un extrémum de cette fonction (une solution) et de rendre un rêve réalité : énoncer les propriétés de ce que vous cherchez et si tout se passe bien (n'oublions pas le théorème de Cook [5]), on vous donne la solution (ou on vous prouve qu'il n'y en a pas<sup>8</sup>).

7. Open source si cher au premier auteur de l'article mentionné au dessus (R.M. Stallman est un initiateur du projet GNU et de la licence GPL).

8. Oui, elle peut faire 200 To.



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

Hélas, la biologie est le royaume de l'exception, de l'incertitude et de l'information incomplète. La logique pure et les réseaux de contraintes y ont la vie dure. Mais il est possible de faire des ponts entre la logique et l'incertain.

Un modèle graphique permet de décrire une fonction comme la combinaison (la somme par exemple) de fonctions impliquant peu de variables. Il peut être stochastique (champs de Markov, réseau Bayésien) en décrivant une distribution de probabilités ou non (réseau de contraintes, valuées ou non, formules SAT pondérées...). Énoncez (ou estimez) un modèle graphique, et nous vous chercherons une solution très vraisemblable, vraiment préférée. Si tout se passe bien (Cook est là aussi), cela sera la plus vraisemblable (et cela aura été prouvé). Un réseau de contraintes est ainsi un cas particulier de modèle graphique, booléen. Le premier est un dépositaire de l'IA symbolique, logique. Le second, souvent farci de probabilités, marginales ou jointes, est plutôt originaire du "Machine Learning" : en particulier, il s'estime à partir de données. Ces deux domaines, qui partagent tant de principes algorithmiques, sont pourtant largement isolés dans leurs conférences respectives (SAT/CP vs. UAI/CVPR par exemple).

Massivement utilisés en analyse d'image, du langage naturel ou en bioinformatique, les modèles graphiques font partie de l'attirail de base de l'apprentissage automatique [3]. Il devient possible, parfois à coût algorithmique très raisonnable (ceux liés à la résolution de problèmes d'optimisation convexe [11, 12]), d'estimer leurs paramètres et leur structure à partir de données complètes. Puis de raisonner dessus : optimisation (NP-difficile), comptage (#P-difficile).

Je vois finalement mon domaine de recherche à la jointure : généraliser aux modèles graphiques (stochastiques ou non), les capa-

cités de raisonnement garanties développées pour les modèles booléens (logiques). Sur ce terrain, nous avons observé des progrès aussi importants que pour les prouveurs SAT. Le solveur *toulbar2* [6] peut résoudre et prouver l'optimalité d'instances (issues de problèmes d'analyse d'images) de 500 000 variables avec des domaines de taille 4 (mais aussi buter sur des instances aléatoires de taille bien plus réduite). Il est maintenant utilisé par d'autres pour résoudre des problèmes variés<sup>9</sup>.

## Vers l'infini et au delà

En général, les prévisions sont fausses car entâchées de biais, dont ceux liés à des événements récents, jugés cruciaux, alors qu'ils ne l'étaient finalement pas.

Il me semble néanmoins, qu'en sus des éternelles quêtes pour une meilleure efficacité, pour une compréhension de celle-ci et pour une plus grande facilité d'utilisation, il y a quatre grandes directions qui sont plus particulièrement attirantes en ce moment pour les spécialistes de l'exploration des espaces combinatoires (CSP, SAT ou modèles graphiques entre autres).

1. *Beyond NP* : la théorie de la complexité nous a longtemps invités à penser que les problèmes NP-complets définissaient des instances majoritairement intraitables. Les progrès de ces 30 dernières années montrent que le comportement exponentiel non maîtrisable peut être contenu suffisamment longtemps pour permettre de traiter bon nombre d'instances significatives de ces problèmes intraitables. Il n'est donc pas incongru de s'attaquer à la résolution d'instances significatives de problèmes placés plus haut, dans la hiérarchie polynomiale ou autour de son apex : problèmes PSPACE ou #P-complet [16]. Il est aussi raisonnable, dans ces cas, de viser des garanties plus légères

9. Cf. [/www.inra.fr/mia/T/toulbar2/publication.html](http://www.inra.fr/mia/T/toulbar2/publication.html).



- (approximations [17], garanties PAC – *Probably Approximately Correct* [4]), pas forcément polynomiales et en progressant sur la base d'instances dont la résolution a du sens. Il faut donc aussi collectionner des instances qui ne soient pas purement artificielles.
2. *Intégrer les avancées du Machine Learning dans nos outils* : certaines classifications réalisées par les outils de résolution sont cruciales pour l'efficacité des solveurs. On peut penser par exemple à la notion de *glue clause* utilisée dans le solveur SAT GLUCOSE [1]. Cette classe a été identifiée par tâtonnements. Peut-on utiliser l'apprentissage automatique pour identifier des classes plus pertinentes, sur la base des nombreux benchmarks accumulés. Idem pour nos heuristiques variées, nos choix de schéma de branchement, de niveau de propagation, de preprocessing... Il devrait même être possible de les intégrer comme une heuristique de choix de valeur, entraînable sur une « famille d'instances » [8].
  3. *Construire sur les épaules du machine learning* : les outils du Machine Learning produisent des modèles qui peuvent décrire une fonction (régressions variées) ou relation (classification) ou d'autres objets mathématiques qu'il serait possible d'exploiter directement comme une fonction participant à la définition du problème à résoudre [2]. Mais le respect de contraintes dures n'est typiquement pas aisé à garantir dans ces modèles. En les couplant à des outils avec garanties, il deviendrait possible d'aller des données vers des décisions structurées complexes avec des garanties partielles.
  4. *Faire progresser le machine Learning certifiable, explicable, équitable* : une des limitations non négligeables des réseaux de neurones convolutionnels profonds (par exemple) est leur relative incapacité à ap-

prendre des modèles qui résistent à des manipulations. Il n'est pas difficile de les tromper en perturbant de façon minimale leur entrée [15]. Les méthodes de preuve de l'IA avec garantie devraient pouvoir fournir des outils d'analyse de ces modèles [10, 7] permettant de garantir qu'ils satisfont certaines propriétés d'intérêt.

## Références

- [1] Gilles Audemard and Laurent Simon. Predicting learnt clauses quality in modern sat solvers. In *International Joint Conference in AI*, volume 9, pages 399–404, 2009.
- [2] Andrea Bartolini, Michele Lombardi, Michela Milano, and Luca Benini. Neuron constraints to model complex real-world problems. In *International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, pages 115–129. Springer, 2011.
- [3] Christopher M. Bishop. *Pattern Recognition and Machine Learning (Information Science and Statistics)*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006.
- [4] Supratik Chakraborty, Kuldeep S Meel, and Moshe Y Vardi. A scalable approximate model counter. In *International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, pages 200–216. Springer, 2013.
- [5] Stephen A Cook. The complexity of theorem-proving procedures. In *Proceedings of the third annual ACM symposium on Theory of computing*, pages 151–158. ACM, 1971.
- [6] Barry Hurley, Barry O'Sullivan, David Allouche, George Katsirelos, Thomas Schiex, Matthias Zytnicki, and Simon De Givry. Multi-language evaluation of exact solvers in graphical model discrete



- optimization. *Constraints*, 21(3) :413–434, 2016.
- [7] Guy Katz, Clark Barrett, David L Dill, Kyle Julian, and Mykel J Kochenderfer. Reluplex : An efficient smt solver for verifying deep neural networks. In *International Conference on Computer Aided Verification*, pages 97–117. Springer, 2017.
- [8] Elias Khalil, Hanjun Dai, Yuyu Zhang, Bistra Dilkina, and Le Song. Learning combinatorial optimization algorithms over graphs. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, pages 6351–6361, 2017.
- [9] Oliver Kullmann. The science of brute force. *Communications of the ACM*, 2017.
- [10] Nina Narodytska, Shiva Prasad Kasiviswanathan, Leonid Ryzhyk, Mooly Sagiv, and Toby Walsh. Verifying properties of binarized deep neural networks. *arXiv preprint arXiv :1709.06662*, 2017.
- [11] Youngsuk Park, David Hallac, Stephen Boyd, and Jure Leskovec. Learning the network structure of heterogeneous data via pairwise exponential markov random fields. In *Artificial Intelligence and Statistics*, pages 1302–1310, 2017.
- [12] Stefan Seemayer, Markus Gruber, and Johannes Söding. Ccmpred—fast and precise prediction of protein residue–residue contacts from correlated mutations. *Bioinformatics*, 30(21) :3128–3130, 2014.
- [13] Xujie Si, Xin Zhang, Radu Grigore, and Mayur Naik. Maximum satisfiability in software analysis : Applications and techniques. In *International Conference on Computer Aided Verification*, pages 68–94. Springer, 2017.
- [14] David Simoncini, David Allouche, Simon de Givry, Céline Delmas, Sophie Barbe, and Thomas Schiex. Guaranteed discrete energy optimization on large protein design problems. *Journal of chemical theory and computation*, 11(12) :5980–5989, 2015.
- [15] Christian Szegedy, Wojciech Zaremba, Ilya Sutskever, Joan Bruna, Dumitru Erhan, Ian Goodfellow, and Rob Fergus. Intriguing properties of neural networks. *arXiv preprint <https://arxiv.org/abs/1312.6199>*, 2013.
- [16] Seinosuke Toda. On the computational power of pp and  $\oplus p$ . In *Foundations of Computer Science, 1989., 30th Annual Symposium on*, pages 514–519. IEEE, 1989.
- [17] Clément Viricel, David Simoncini, Sophie Barbe, and Thomas Schiex. Guaranteed weighted counting for affinity computation : Beyond determinism and structure. In *International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, pages 733–750. Springer, 2016.



**AfIA**  
Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

---

## Comptes rendus de journées, événements et conférences

---



## ■ EGC & IA

Par **Jérôme AZÉ**  
LIRMM  
Université de Montpellier  
[jerome.aze@lirmm.fr](mailto:jerome.aze@lirmm.fr)

La 3<sup>e</sup> journée Extraction et Gestion des Connaissances & IA (EGC & IA) organisée conjointement par l'AfIA et EGC. Elle s'est déroulée le mercredi 23 Janvier 2018 à la Maison des sciences et de l'Homme de Paris Nord.

### Responsables scientifiques

- Jérôme AZÉ (Université de Montpellier/LIRMM)
- Thierry CHARNOIS (Université Paris 13/LIPN)

### Comité de Programme

- Maxime AMBLARD, LORIA
- Jean-Yves ANTOINE, Université de Tours
- Annie BLANDIN, IMT Atlantique
- Gauvain BOURGNE, CNRS & Sorbonnes Universités, UPMC Paris 06, LIP6
- Nora CUPPENS-BOULAHIA, IMT Atlantique
- Gaël DECHALENDAR, CEA
- Karën FORT, Paris Sorbonne
- Philippe LENCA, IMT Atlantique
- Fabrice MUHLENBACH, Université Jean Monnet
- Guillaume PIOLLE, Centrale Supélec

### Page web

<https://egc-ia-2018.sciencesconf.org/>

Cette journée visait à offrir un panorama des approches liées à la collecte, le stockage et la gestion des données personnelles en lien étroit avec les problématiques de vie privée et d'éthique.

### Thématiques de la journée

À l'ère des *Big Data*, chaque utilisateur de notre monde hyper-connecté laisse derrière lui une myriade de traces numériques tout en effectuant ses activités quotidiennes. Ces masses de données sont majoritairement exploitées par de grandes compagnies afin d'en extraire de précieuses informations permettant de modéliser le comportement humain et d'améliorer des stratégies de marketing. Chaque compagnie n'a qu'une vision limitée des données personnelles disponibles, uniquement celles collectées via les services qu'elle propose.

Et surtout, chaque utilisateur a un contrôle assez limité sur les données réellement collectées, et sur l'usage qu'il pourrait en faire. Des solutions telles que les « *Personal Data Store* » ou les « *Information Management System* » apparaissent.

L'objectif est de permettre aux utilisateurs de centraliser des données fréquemment utilisées par des sites marchands ou autres, et ainsi de faciliter les actions de l'utilisateur lorsqu'il a besoin de transmettre ces informations en lui évitant de devoir les ressaisir (par exemple).

Il y a cependant un manque réel d'algorithmes et de modèles dédiés pour le traitement des données personnelles afin d'y détecter des comportements et d'en extraire de la connaissance, tout en garantissant les aspects liés à la protection de la vie privée et les aspects liés à l'éthique dans le cas de scénario d'utilisation centré sur l'utilisateur.

Aujourd'hui, l'analyse des données personnelles, la protection individuelle de la vie privée et le respect de l'éthique sont les éléments clés pour tirer parti des services pour un nouveau type de systèmes.

La disponibilité d'outils d'analyse personnelle capables d'extraire des connaissances ca-



**AfIA**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

chées à partir de données individuelles tout en protégeant le droit à la vie privée et en respectant l'éthique peut aider la société à passer de systèmes centrés sur l'organisation à des systèmes centrés sur l'utilisateur, où l'utilisateur est le propriétaire de ses données personnelles et peut gérer, comprendre, exploiter, contrôler et partager ses propres données et les connaissances pouvant en être extraites de manière complètement sûre.

Cette problématique trouve un écho particulier dans le cadre du nouveau [Règlement européen sur la Protection des Données Personnelles](#) (RPDG) paru au journal officiel de l'Union européenne et entrant en application le 25 mai 2018. Cette réglementation renforce les droits des personnes, notamment par la création d'un droit à la portabilité des données personnelles, et responsabilise les acteurs traitant des données (responsables de traitement et sous-traitants).

## Programme

- 14h – 15h : présentations de l'AfIA, par Yves DEMAZEAU (Président de l'AfIA) et de EGC par Fabrice GUILLET (Président de EGC)
- 15h – 16h30 : Session Données personnelles, vie privée et éthique
  - 15h – 15h30 : « A Declarative Approach to Linked Data Anonymization », Angela BONIFATI, Rémy DELANAUX, Marie-Christine ROUSSET and Romuald THION .
  - 15h30 – 16h : « Co-clustering for differentially private synthetic data generation », Tarek BENKHELIF, Françoise FESSANT, Fabrice CLÉROT and Guillaume RASCHIA.
  - 16h – 16h30 : « Système de gestion de l'obsolescence dans une base d'informations personnelles », Salma CHAIEB, Véronique DELCROIX, Ali

BENMRAD and Emmanuelle GRISLIN.

- 16h30 – 17h : Pause
- 17h – 18h : Conférence de Karèn FORT (Université Paris-Sorbonne) « TAL et éthique »

Cette journée était organisée par Jérôme AZÉ (Université de Montpellier/LIRMM) et Thierry CHARNOIS (Université Paris 13/LIPN). Elle a été ouverte par Yves DEMAZEAU (CNRS, Président de l'AfIA) qui a présenté les activités et perspectives de l'AfIA et Fabrice GUILLET (Université de Nantes/Polytech'Nantes, Président de EGC) qui a présenté les activités de l'association EGC.

Suite au faible nombre de soumissions, la journée initialement prévue a été réduite à une demi-journée. Après la présentation des associations AFIA et EGC, trois orateurs se sont succédés, en ciblant différents champs de la discipline :

- « A Declarative Approach to Linked Data Anonymization », Angela BONIFATI, Rémy DELANAUX, Marie-Christine ROUSSET et Romuald THION.

**Résumé.** We present a declarative approach for privacy-preserving data publishing in Linked Open Data, in which privacy and utility policies along with basic data transformation operators are encoded as SPARQL queries. We believe that our approach can be useful in many settings in which data providers are responsible for the non-disclosure of information that could serve as quasi-identifiers whenever crossed with external data sources. Data producers need their own means to specify the privacy policies they want to enforce on their datasets to be published, but also to specify the utility policies that tell which parts of the





data should be kept. They also need tools for computing the anonymization operations to apply to their datasets prior to their publication with the guarantee that the specified privacy and utility policies are verified by the resulting dataset. Our approach is designed to meet these requirements by leveraging the expressive power of SPARQL queries and the effectiveness of SPARQL query engines.

- « Co-clustering for differentially private synthetic data generation », Tarek BENKHELIF, Françoise FESSANT, Fabrice CLÉROT et Guillaume RASCHIA.

**Résumé.** We propose a methodology to anonymize microdata (*i.e.*, a table of  $n$  individuals described by  $d$  attributes). The goal is to be able to release an anonymized data table built from the original data while meeting the differential privacy requirements. The proposed solution combines co-clustering with synthetic data generation to produce anonymized data. First, a data independent partitioning on the domains is used to generate a perturbed multidimensional histogram; a multidimensional co-clustering is then performed on the noisy histogram resulting in a partitioning scheme. This differentially private co-clustering phase aims to form attribute values clusters and thus, limits the impact of the noise addition in the second phase. Finally, the obtained scheme is used to partition the original data in a differentially private fashion. Synthetic individuals can then be drawn from the partitions. We show through experiments that our solution outperforms existing approaches and we demonstrate that the produced synthetic data

preserve sufficient information and can be used for several datamining tasks.

- « Système de gestion de l'obsolescence dans une base d'informations personnelles », Salma CHAIEB, Véronique DELCROIX, Ali BENMRAD et Emmanuelle GRISLIN.

**Résumé.** L'évaluation régulière du risque de chute des personnes âgées requiert des informations fiables et nombreuses. Comme il n'est pas possible de recueillir régulièrement toutes ces informations, les observations sont faites au fil du temps et conservées, ce qui entraîne une problématique liée au vieillissement des informations. Cet article traite de la détection des informations obsolètes dans une base d'informations sur une personne âgée. Nous proposons un agent chargé de maintenir une base d'informations et capable de fournir à la demande des informations fiables et cohérentes sur la personne. L'agent est équipé d'un modèle de connaissances sur les personnes âgées, sous forme d'un réseau bayésien et d'un module de raisonnement chargé de la détection et de la gestion des contradictions et des doutes sur les informations.

Puis, après cette session de présentation d'articles, Karèn FORT (Université Paris-Sorbonne) a donné une conférence d'une heure sur la thématique « TAL et éthique ». Karèn FORT a dans un premier temps présenté les spécificités des problématiques éthiques en TAL (Traitement Automatique des Langues), puis elle a élargit la problématique aux enjeux éthiques de la communauté scientifiques. Elle a ensuite présenté les actions du groupe « Éthique et TAL ». Elle a conclu en montrant la nécessité d'une réflexion éthique à différents niveaux : chercheurs, sociétal, politique, *etc.*



**Afia**  
Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

---

## Thèses et HDR du trimestre

---

Si vous êtes au courant de la programmation de soutenances de thèses ou HDR en Intelligence Artificielle cette année, vous pouvez nous les signaler en écrivant à [redacteur@afia.asso.fr](mailto:redacteur@afia.asso.fr).



## ■ Thèses de Doctorat

### **Raphael BOST**

« Algorithmes de recherche sur bases de données chiffrées »

Supervision : *Pierre Alain FOUQUE*  
*David POINTCHEVAL*

Le 08/01/2018, à l'Université de Rennes 1

### **Matthieu ZIMMER**

« Apprentissage par renforcement développemental »

Supervision : *Alain DUTECH*  
*Yann BONIFACE*

Le 15/01/2018, à l'Université de Lorraine

### **Benjamin GRAS**

« Les oubliés de la recommandation sociale »

Supervision : *Anne BOYER*

Le 18/01/2018, à l'Université de Lorraine

### **Ahmed HEFNAWY**

« Modélisation du cycle de vie de l'écosystème de la ville intelligente »

Supervision : *Abdelaziz BOURAS*

Le 19/01/2018, à l'Université de Lyon

### **Quang Vinh DANG**

« Évaluation de la confiance dans la collaboration à large échelle »

Supervision : *Francois CHAROY*  
*Claudia Lavinia IGNAT*

Le 22/01/2018, à l'Université de Lorraine

### **Dominique THIAULT**

« Définition et opérationnalisation d'une ontologie des processus sociaux - La coopération par engagements et suspensions »

Supervision : *Gilles KASSEL*  
*Ines SAAD*

*Eddie SOULIER*

Le 26/01/2018, à l'Université de Amiens

### **Mehdi CHERTI**

« Deep generative neural networks for novelty generation : a foundational framework, metrics and experiments »

Supervision : *Balazs KEGL*

Le 26/01/2018, à l'Université de Paris Saclay

### **Saeed HADIKHANLOO**

« Apprentissage dans les jeux à champ moyen »

Supervision : *Pierre CARDALIAGUET*  
*Rida LARAKI*

Le 29/01/2018, à l'Université de Paris Sciences et Lettres

### **Amira BOUABID**

« Contribution à la conception d'interfaces Homme-Machine distribuées sur tables interactives avec objets tangibles »

Supervision : *Christophe KOLSKI*  
*Mohamed salim BOUHLEL*

Le 31/01/2018, à l'Université de Valenciennes

### **Sara EI HASSAD**

« Learning commonalities in RDF & SPARQL »

Supervision : *Francois GOASDOUE*  
*Helene JAUDOIN*

Le 02/02/2018, à l'Université de Rennes 1

### **Thekra ibraheem lati AL DOURI**

« Méthodes heuristiques pour les problèmes de type knapsack »

Supervision : *M'hand HIFI*

Le 02/02/2018, à l'Université de Amiens



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

**Edmundo pavel Soriano MORALES**

« Hypergraphs and information fusion for term representation enrichment. Applications to word sense disambiguation and named entity recognition »

Supervision : *Sabine LOUDCHER*

*Julien Ah PINE*

Le 07/02/2018, à l'Université de Lyon

**Florian LUGOU**

« Environnement pour l'analyse de sécurité d'objets communicants »

Supervision : *Ludovic APVRILLE*

*Aurelien FRANCILLON*

Le 08/02/2018, à l'Université Cote d'Azur

**Aroua ESSAYEH**

« Une approche de personnalisation de la recherche d'information basée sur le Web sémantique »

Supervision : *Mourad ABED*

Le 09/02/2018, à l'Université de Valenciennes

**Mohamed Yassine SAMIRI**

« Impact de l'intégration du concept du produit intelligent sur la plateforme de la chaîne logistique du conteneur »

Supervision : *Jaouad BOUKACHOUR*

*Abdelaziz El FAZZIKI*

Le 10/02/2018, à l'Université de Normandie

**Asma GHARBI**

« Une approche à base de règles d'association pour l'explication et la prévision de l'évolution territoriale »

Supervision : *Herman AKDAG*

*Sami FAIZ*

Le 13/02/2018, à l'Université de Paris 8

**Nassim BENHARRAT**

« Test à base de modèles de systèmes temporisés distribués : une approche basée sur les contraintes pour résoudre le problème de l'oracle »

Supervision : *Pascale Le GALL*

Le 14/02/2018, à l'Université de Paris Saclay

**Alma CANTU**

« Proposition de modes de visualisation et d'interaction innovants pour les grandes masses de données et/ou les données structurées complexes en prenant en compte les limitations perceptives des utilisateurs »

Supervision : *Thierry DUVAL*

Le 15/02/2018, à l'École nationale supérieure Mines-Telecom Atlantique Bretagne Pays de la Loire

**Viet Anh NGUYEN**

« Cache-conscious off-line real-time scheduling for multi-core platforms : algorithms and implementation »

Supervision : *Isabelle PUAUT*

*Damien HARDY*

Le 22/02/2018, à l'Université de Rennes 1

**Seyed Ziaeddin ALBORZI**

« Automatic Discovery of Hidden Associations Using Vector Similarity : Application to Biological Annotation Prediction »

Supervision : *David RITCHIE*

*Marie Dominique DEVIGNES*

Le 23/02/2018, à l'Université de Lorraine

**Grigori GERMAN**

« Programmation par contraintes pour le dimensionnement de lots de production »

Supervision : *Jean Philippe GAYON*

Le 05/03/2018, à l'Université de Grenoble Alpes



**Afia**

Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

**Ken DEGUERNE**

« Apprentissage de structures musicales en contexte d'improvisation »

Supervision : *Emmanuel VINCENT*  
*Gerard ASSAYAG*

Le 06/03/2018, à l'Université de Lorraine

**Otman MANAD**

« Nettoyage de corpus web pour le traitement automatique des langues »

Supervision : *Gilles BERNARD*

Le 06/03/2018, à l'Université de Paris 8

**Issam FALIH**

« Clustering dans les réseaux attribués : application aux systèmes de recommandation »

Supervision : *Younes BENNANI*

Le 08/03/2018, à l'Université de Sorbonne Paris Cite

**Lise marie VEILLON**

« Apprentissage artificiel collectif : aspects dynamiques et structurels »

Supervision : *Henry SOLDANO*

Le 08/03/2018, à l'Université de Sorbonne Paris Cite

**Luca MARIOT**

« Automates cellulaires, fonctions booléennes et dessins combinatoires »

Supervision : *Enrico FORMENTI*  
*Alberto LEPORATI*

Le 09/03/2018, à l'Université Cote d'Azur

**Madjid KARA**

« Data quality for the decision of the ambient systems »

Supervision : *Amar Ramdane CHERIF*

Le 14/03/2018, à l'Université de Paris Saclay

**Asma HOUISSA**

« Les algorithmes d'apprentissage pour l'aide au stationnement urbain »

Supervision : *Dominique BARTH*

Le 15/03/2018, à l'Université de Paris Saclay

**Ruslan KALITVIANSKI**

« Traitements formels et sémantiques des échanges et des documents textuels liés à des activités collaboratives »

Supervision : *Christian BOITET*  
*Valerie BELYNCK*

Le 20/03/2018, à l'Université de Grenoble Alpes

**Remi PAULIN**

« Mouvement homme-robot : une approche basée sur l'attention »

Supervision : *Thierry FRAICHARD*  
*Patrick REIGNIER*

Le 22/03/2018, à l'Université de Grenoble Alpes

**Lucile BECHADE**

« L'humour dans les interactions sociales homme-robot »

Supervision : *Laurence DEVILLERS*

Le 23/03/2018, à l'Université de Paris Saclay

**Mercedes Garcia MARTINEZ**

« Factored neural machine translation »

Supervision : *Yannick ESTEVE*  
*Loic BARRAULT*

*Fethi BOUGARES*

Le 27/03/2018, à l'Université de Le Mans

**Elodie GAUTHIER**

« Collecter, Transcrire, Analyser : quand la machine assiste le linguiste dans son travail de terrain »

Supervision : *Laurent BESACIER*

Le 30/03/2018, à l'Université de Grenoble Alpes

**Massilia MEDJKOUNE**

« Vers une approche non orientée pour l'évaluation de la qualité des odeurs »

Supervision : *Jacky MONTMAIN*  
*Jean Louis FANLO*

Le 30/03/2018, à l'Université de Montpellier



**AfIA**  
Association française  
pour l'Intelligence Artificielle

## ■ Habilitations à Diriger les Recherches

Aucun retour auprès de l'AfIA. N'hésitez pas à nous envoyer les HDR soutenues portées à votre connaissance !



---

## À PROPOS DE L'AfIA

---

L'objet de l'AfIA, Association Loi 1901 sans but lucratif, est de promouvoir et de favoriser le développement de l'Intelligence Artificielle (IA) sous ses différentes formes, de regrouper et de faire croître la communauté française en IA, et, à la hauteur des forces de ses membres, d'en assurer la visibilité.

L'AfIA anime la communauté par l'organisation de grands rendez-vous annuels. L'AfIA organise ainsi chaque année une semaine de l'IA, la Plate-forme IA (PFIA 2017 Caen, PFIA 2018 Nancy) au sein de laquelle se tiennent la Conférence Nationale d'Intelligence Artificielle (CNIA), les Rencontres des Jeunes Chercheurs en IA (CNIA) et la Conférence sur les Applications Pratiques de l'IA (APIA) ainsi que des conférences thématiques qui peuvent évoluer d'une année à l'autre sans récurrence obligée.

C'est ainsi que du 2 au 6 juillet 2018 à Nancy, lors de son édition 2018, la Plate-Forme IA hébergera, outre les 21<sup>e</sup> CNIA, 16<sup>e</sup> CNIA et 4<sup>e</sup> APIA, les 29<sup>es</sup> IC et les 13<sup>es</sup> JFPDA. Y sont également programmées une compétition d'intégration verticale DriveTo-Gaether ainsi que six journées communes organisées avec d'autres associations ou institutions.

Forte du soutien de ses 514 adhérents à jour de leur cotisation, l'AfIA assure :

- Le maintien d'un [Site Web](#) dédié à l'IA, reproduisant également les Brèves de l'IA,
- Une journée recherche annuelle sur les Perspectives et Défis en IA (PDIA 2017),
- Une journée industrielle annuelle ou Forum Industriel en IA (FIIA 2017),
- La remise annuelle d'un [Prix de Thèse](#) de Doctorat en IA,
- Le soutien à plusieurs [Collèges](#), actuellement au nombre de 4, ayant leur propre activité :
  - Collège Industriel (depuis janvier 2016),
  - Collège Science de l'Ingénierie des Connaissances (depuis avril 2016),

sances (depuis avril 2016),

- Collège Systèmes Multi-Agents et Agents Artificiels (depuis octobre 2016),
- Collège Représentation et Raisonnement (depuis avril 2017)

- La parution trimestrielle des [Bulletins](#) de l'AfIA, en accès libre à tous depuis le site web,
- Un lien entre adhérents sur les réseaux sociaux [LinkedIn](#), [Facebook](#) et [Twitter](#),
- Le [parrainage](#) scientifique et financier de conférences et d'écoles d'été en IA,
- La diffusion mensuelle de Brèves sur les actualités de l'IA en France ([breves@afia.asso.fr](mailto:breves@afia.asso.fr)),
- La réponse aux consultations officielles ou officieuses (OPECST, MESRI, MINEF, ANR, etc.),
- La réponse aux questions de la presse écrite et de la presse orale, également sur internet.

L'AfIA organise aussi mensuellement des Journées communes avec d'autres Associations (en 2018 : EGC&IA avec EGC, Droit&IA avec la SLC, TAL&IA avec ATALA) et avec d'autres institutions (en 2018 : IA pour l'Education avec la MEN/DEN, Éthique&IA avec le COERLE, Rob&IA avec le GdR Robotique).

Enfin, l'AfIA contribue à la participation de ses membres aux grands événements de l'IA. Ainsi, les membres de l'AfIA, pour leur inscription à PFIA 2018, bénéficieront d'une réduction équivalente à deux fois le coût de leur adhésion à l'AfIA, leur permettant d'assister à PFIA 2018 sur 5 jours au tarif de 95,00 € !

Rejoignez-vous vous aussi et adhérez à l'AfIA pour contribuer au développement de l'IA en France. L'adhésion peut être individuelle ou, à partir de cinq adhérents, être réalisée au titre de personne morale (institution, laboratoire, entreprise). Pour adhérer, il suffit de vous rendre sur le site des [adhésions](#) de l'AfIA.

Merci également de susciter de telles adhésions en diffusant ce document autour de vous !



### CONSEIL D'ADMINISTRATION

**Yves DEMAZEAU**, *président*  
**Élise BONZON**, *vice-président*  
**Catherine FARON-ZUCKER**, *trésorière*  
**Sandra BRINGAY**, *secrétaire*  
**Dominique LONGIN**, *rédacteur*  
**Arnaud MARTIN**, *webmestre*

Membres :

Carole ADAM, Emmanuel ADAM, Patrick ALBERT, Florence BANNAY, Alain BERGER, Frédéric MARIS, Juliette MATTIOLI, Engelbert MEPHU NGUIFO, Davy MONTICOLO, Philippe MORIGNOT, Bruno PATIN, Gauthier PICARD, Olivier SIMONIN, Serena VILLATA

### COMITÉ DE RÉDACTION

**Emmanuel ADAM**  
*Rédacteur*  
Emmanuel.Adam@univ-valenciennes.fr

**Claire LEFÈVRE**  
*Rédacteur*  
claire.lefevre@univ-angers.fr

**Dominique LONGIN**  
*Rédacteur en chef*  
Dominique.Longin@irit.fr

**Philippe MORIGNOT**  
*Rédacteur*  
philippe.morignot@vedecom.fr

### LABORATOIRES ET SOCIÉTÉS ADHÉRANT COMME PERSONNES MORALES

.....  
Ardans, Berger Levrault, CRIL, CRISAL, Dassault Aviation, GRETTIA, GREYC, Huawei, I3S, IBM, INRIA Sophia Antipolis Mediterranee, IRIT, ISAE-SUPAERO, Lab-STICC, LAMSADE, LERIA, LIG2P, LHC, LIG, LIMICS, LIMSI, LIP6, LIPAPE, LIRIS, LIRMM, LITIS, MalAGE, Naver Labs, MaiAGE, Renault, Thales, Veolia.

## ■ 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  
Tél. : +33 (0)4 76 51 46 43  
[president@afia.asso.fr](mailto:president@afia.asso.fr)

### Serveur WEB

<http://www.afia.asso.fr>

### Adhésions, liens avec les adhérents

Catherine FARON-ZUCKER  
[tresorier@afia.asso.fr](mailto:tresorier@afia.asso.fr)

## ■ Calendrier de parution du Bulletin de l'Afia

	Hiver	Printemps	Été	Automne
Réception des contributions	15/12	15/03	15/06	15/09
Sortie	31/01	30/04	31/07	31/10