



**Jean-François  
BOULICAUT  
(LY-IF 1983)**

Professeur au Département  
Informatique de l'INSA Lyon  
Chercheur au LIRIS CNRS  
UMR 5205.



**Sylvie CALABRETTO**

Professeur au Département  
Informatique de l'INSA Lyon  
Chercheur au LIRIS  
CNRS UMR 5205.

## ENSEIGNER L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE À L'INSA LYON

L'intelligence artificielle existe depuis une soixantaine d'années mais il faut reconnaître qu'elle a été longtemps ignorée tout en relevant les exceptions notables des artistes (romanciers, cinéastes) et des chercheurs. Il y a bien eu quelques périodes enthousiastes (comme, par exemple, le programme des ordinateurs de 5<sup>ème</sup> génération au Japon dans les années 1980 ou des victoires spectaculaires aux échecs ou au jeu de Go), mais les attentes et les promesses de certains étaient démesurées. Ainsi, les réalisations concrètes, pourtant au rendez-vous, décevaient et — pour nous, qui sommes impliqués dans ces développements depuis bientôt quarante ans — il y a eu des moments heureux et d'autres où nous devons nous cacher !



50 ans de directeurs du département IF, avec de gauche à droite : R. Arnal, 1969 – 1989 ; Y. Martinez, 1989-2000 ; J.M. Pinon, 2000-2009 ; Y. Amghar, 2009-2015 et J.F. Boulicaut, 2015-2018 ; 2018 - 2021 : le Département est dirigé par Lionel BRUNIE.

L'intelligence artificielle semble maintenant reconnue comme une branche majeure de l'informatique et il ne se passe pas un jour sans qu'une nouvelle publicité ou une actualité ne vienne promettre des lendemains meilleurs... ou pires du fait d'intelligences artificielles ! Les médias généralistes usent et abusent du terme, les gouvernements peaufinent des stratégies de développement (voir notamment le rapport Villani commandé par la présidence de la république française en 2018) et de plus en plus d'entreprises, plus ou moins grandes, affichent des ambitions dans ces secteurs. Tout deviendrait intelligent, les villes, les véhicules, les vêtements, les compteurs électriques, les gestions de ressources humaines, etc.

**“...il s'agit de construire des programmes qui vont pouvoir réaliser des tâches pour lesquelles les humains sont doués...”**

La discipline apparaît très tôt, avant même que le mot informatique ne soit adopté en France en 1962 ! En effet, à partir des années 1950, sous les plumes des pionniers que sont Alan Turing, Marvin Minski, John McCarthy, Allen Newel, Herbert Simon et quelques autres, la thématique émerge : il s'agit de construire des programmes qui vont pouvoir réaliser des tâches pour lesquelles les humains sont doués (résolution de problèmes, planification, compréhension de la langue naturelle, vision, apprentissage, jeux, etc.). On se dit que ces programmes doivent être intelligents car nous, humains, mobilisons notre intelligence pour réaliser de telles tâches.

On assistera au développement de deux courants importants de l'Intelligence Artificielle, celui qui veut comprendre et reproduire l'intelligence humaine avec donc une vision de science cognitive (e.g., on veut comprendre une phrase comme un humain le ferait, un contexte de cognition, de linguistique ou même de neurolinguistique et de psycholinguistique), et celui qui va se concentrer sur le développement de programmes performants pour des tâches difficiles (e.g., on veut exécuter un ordre transmis en langue naturelle et un travail statistique peut suffire). C'est ce second courant qui retient principalement l'attention dans les écoles d'ingénieurs : on veut des programmes qui savent « prendre de bonnes décisions », peu importe qu'ils miment une quelconque intelligence humaine. Ce courant a pu bénéficier à la fois de progrès en mathématiques appliquées et des prouesses technologiques en matière

de moyens de calculs et dispositifs de mémorisation. Ainsi, vaincre un champion du monde aux échecs en 1997 (« Deeper Blue » IBM) n'a pas été possible du fait de l'imitation d'un ou plusieurs grands maîtres mais est à mettre au crédit d'infrastructures de traitement de l'information exceptionnelles. Plus récemment, ce sont pourtant les possibilités d'apprentissage de AlphaGo et de son évolution AlphaGo Zero (Google DeepMind) qui ont fait la différence au Go et aux échecs : les programmes vainqueurs d'aujourd'hui apprennent en jouant contre d'autres programmes ou contre eux-mêmes. C'est un succès extraordinaire pour les méthodes d'apprentissage automatique (« Machine Learning ») et notamment l'apprentissage par renforcement et l'utilisation des réseaux de neurones artificiels.

Même si l'on privilégie une vision utilitaire à court terme de l'Intelligence Artificielle, il y a une différence entre l'utilisation de solutions issues de l'Intelligence Artificielle (i.e., savoir « se servir sur l'étagère ») et la conception de telles solutions. Le monde de la recherche académique reste indispensable pour s'attaquer aux nombreux verrous scientifiques qui demeurent pour concevoir de nouvelles méthodes ou de nouveaux outils en intelligence artificielle et surtout pour comprendre les qualités et les limites des approches existantes

Voire, par exemple :

- les difficultés des raisonnements non monotones, flous et/ou incertains ;
- les problèmes du sur-apprentissage et des « boîtes noires » en apprentissage ou encore
- la question de la pertinence d'une régularité observée dans des flux de données

Ceci est moins vrai lorsqu'il s'agit juste de mettre en œuvre une technologie établie comme, par exemple, l'automatisation du raisonnement déductif certain sur des énoncés en calcul des propositions, l'application d'un algorithme d'apprentissage d'arbres de décisions ou de réseaux de neurones profonds sur des ensembles d'exemples qui s'y prêtent. On retrouve cette double orientation dans des formations d'ingénieur. Ainsi, des cursus peuvent consommer certaines technologies ou solutions « prêtes à l'emploi » dans des domaines d'application variés comme les transports, la science des matériaux ou encore de gestion de l'énergie. Les formations d'informaticien(ne) doivent bien sûr aller au-delà.

**“...avoir été formé aux principaux formalismes de représentation de connaissances mais aussi savoir travailler à la programmation des mécanismes de raisonnements...”**

L'intelligence artificielle c'est d'abord des problématiques de représentation de connaissances (e.g., au moyen de la logique) et de mise en œuvre de méthodes de raisonnements sur ces connaissances (e.g., au moyen d'outils de démonstration de théorèmes et donc de réalisation d'inférences). Son apparition dans les formations d'ingénieurs en informatique est ancienne et a d'abord reposé sur la maîtrise de paradigmes de programmation adaptés à la manipulation de symboles et pas seulement celle de nombres. **Une caractéristique originale des langages de programmation adaptés à l'intelligence artificielle reste l'absence de différence entre données et programmes.** Ceci permet de concevoir des programmes qui peuvent « apprendre » et se modifier (donc s'améliorer) au fur et à mesure des progrès de l'exécution : on peut exploiter une heuristique (un code) pour chercher une solution puis en faire une donnée et la modifier pour prendre en compte l'expérience en cours et la remplacer (nouveau code) pour améliorer les tentatives qui suivent. Il y avait donc ici et là des cours sur la programmation fonctionnelle avec le fameux langage **LISP** ou des cours sur la programmation en logique avec le vecteur **Prolog**. Au départe-



Deux de nos étudiants de 2<sup>e</sup> année recherchent une interprétation de cluster spatial sur des collections de photos géolocalisées.

ment Informatique de l'INSA de Lyon, la programmation en LISP était enseignée au début des années 1980 avec notamment des expérimentations sur le calcul formel et la résolution de problèmes par des parcours de graphes d'états. Depuis le milieu des années 1980, nous y enseignons la résolution de problèmes non triviaux en Prolog. Ainsi, nos étudiants de 4<sup>e</sup> année viennent de travailler à la programmation de plusieurs intelligences artificielles sachant jouer efficacement à des jeux à 2 joueurs qu'ils choisissent (e.g., Puissance 4, Dames). Pour cela ils mettent en œuvre des techniques clés comme le parcours efficace des arborescences des coups possibles à une certaine profondeur ou la construction de programmes qui améliorent leurs heuristiques du fait des parties déjà jouées. Depuis une dizaine d'années, nous utilisons le système SWI-Prolog, un environnement de développement professionnel, gratuit et très bien documenté.

Lorsque l'on programme des logiciels intelligents car capables de raisonnement (déductif, abductif, inductif), il faut non seulement avoir été formé aux principaux formalismes de représentation de connaissances (logiques, règles, réseaux sémantiques) mais aussi savoir travailler à la programmation des mécanismes de raisonnements. Ce savoir-faire repose souvent sur des algorithmes de parcours/construction de structures d'arbres ou de graphes. On trouve donc naturellement dans nos formations des modules concernant ces objets centraux pour les mathématiques discrètes ou mathématiques de l'informatique. C'est aussi dans le milieu des années 1980 que le concept de **système-expert** a émergé : il s'agissait d'imaginer que des mécanismes de raisonnement pouvaient être implémentés dans des moteurs d'inférence généralistes et que la résolution de nombreux problèmes ne nécessiterait alors que l'expression déclarative des connaissances expertes du domaine à traiter.

On dit déclaratif pour signifier que l'explicitation des connaissances n'avait pas à prendre en compte comment et quand elles seraient exploitées. Du milieu des années 1980 à 2013, nous avons utilisé le générateur de systèmes experts Sherlock développé par Guy Caplat, l'un de nos enseignants. Nous avons fait travailler nos étudiants sur des cas d'études réels comme, par exemple, l'aide à l'analyse des responsabilités à partir de constats à l'amiable établis lors d'accidents de la circulation. Sherlock s'est constamment enrichi de nouvelles fonctionnalités et les Systèmes Experts ont cédé la place aux

Systèmes à Base de Connaissances. Le module «Systèmes Experts» a évolué en un module de Modélisation Cognitive et Sherlock s'est transformé en un environnement complet de modélisation de connaissances avec la possibilité de formaliser des méta-connaissances.

Aujourd'hui la conception des systèmes à base de connaissances part plutôt du constat que de grandes masses de données comme le Web contiennent la connaissance du domaine et qu'il faut être en mesure d'exploiter ces sources. **C'est donc tout naturellement qu'un module «Web sémantique» a pris la relève.** Il fallait montrer comment représenter et partager les connaissances à travers le Web, et comment raisonner sur le Web. Toujours en 4<sup>e</sup> année, notre projet de Web sémantique vise à développer un moteur de recherche sémantique spécialisé dans un domaine bien défini (e.g., la musique, le cinéma, les bandes dessinées) en explorant le graphe DBpedia via

**“...Certains parlent  
du 4<sup>e</sup> paradigme  
de la science...”**

le langage SPARQL.

Enfin, les statistiques et l'analyse de données avec des savoir-faire plus que centenaires, sont accompagnées par le développement spectaculaire de la **science des données**. Il s'agit pour de nombreuses entreprises de penser et mettre en œuvre la valorisation de leurs masses de données («Big Data») pour la mise au point de nouveaux services, un besoin boosté par les opportunités qui accompagnent les modèles économiques à base de plateformes et l'ubiquité programmée des objets connectés. Pour les scientifiques, il s'agit de s'adapter à ce nouveau contexte où des masses de données considérables peuvent être **exploitées pour assister les processus de découverte de connaissances, qu'il s'agisse de vouloir décrire, comprendre, expliquer, modéliser ou prédire**. Certains parlent du 4<sup>e</sup> paradigme de la science après ceux de la science empirique, de la science théorique et de la science computationnelle<sup>1</sup>.

Pour l'ingénieur(e) en informatique, saisir ces opportunités, c'est savoir stocker et accéder à de grandes masses de données mais aussi savoir en faire quelque chose au moyen des méthodes et outils que fournissent les statistiques, la fouille de données («Data Mining») et l'apprentissage automatique. Ces domaines sont plus ou moins anciens et bien maîtrisés et font l'objet de modules en 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> année. Le travail d'un scientifique des données

1. «The Fourth Paradigm». Tony Hey, Stewart Tansley, and Kristin Tolle. Microsoft Research, 2009

ne se résume pas à exécuter un algorithme d'apprentissage et/ou à mettre en production un modèle qui se serait suffisamment bien comporté sur des exemples de validation. En effet, ce qui est appelé science des données correspond à la découverte de connaissances à partir de données, un domaine très étudié depuis une trentaine d'années. C'est de l'intelligence artificielle dans le sens où nombre des concepts et outils utilisés proviennent de la communauté des spécialistes en intelligence artificielle mais aussi et surtout parce qu'il s'agit de traiter des connaissances. On connaît des choses, on réalise des observations et, en les exploitant, on formule de nouvelles hypothèses, on affine nos modèles ou même on se doit de réviser nos connaissances a priori. Ces processus sont intrinsèquement itératifs et semi-automatiques et **nécessitent souvent de mobiliser des expertises pluridisciplinaires** (expertises « métier », connaissances du domaine, compétences en informatique et en mathématiques appliquées).

Il faut savoir :

- manipuler les masses de données pertinentes,
- savoir choisir les algorithmes et leurs paramètres,
- adopter des attitudes rigoureuses dans l'évaluation empirique de la qualité des résultats,
- ne pas hésiter à « jeter » un processus médiocre,
- savoir gérer des projets pluridisciplinaires, etc.

Pour initier nos étudiants de 4<sup>e</sup> année, nous encadrons un projet d'exploitation de collections d'images géo localisées et étiquetées sur la région lyonnaise (module « fouille de données »). Ils doivent mettre au point un processus de suggestion de centres d'intérêts dans cette métropole en utilisant des algorithmes de classification automatique (« clustering ») des photos sur leurs positionnements GPS puis doivent proposer une caractérisation automatique de ces groupes calculés par l'exploitation des collections des tags associés. Depuis une dizaine d'années, nos élèves utilisent la plate-forme KNIME, un outil professionnel, gratuit pour l'enseignement, et de très grande qualité qui offre une programmation visuelle appréciée pour la création de « workflows » à partir de centaines de composants paramétrables. Les résultats obtenus après trois semaines de travail sont parfois impressionnants et permettent d'appréhender la complexité des processus de valorisation de données. Les enseignants en Intelligence Artificielle du département Informatique de l'INSA Lyon sont des chercheurs dans différentes équipes<sup>2</sup> spécialisées en fouille de données, apprentissage automatique, exploration et visualisation de données, recherche d'information, analyse de documents et d'images notamment au moyen de réseaux de neurones profonds. Ils font de leur mieux pour alerter les élèves ingénieurs sur la complexité de ces processus et la prudence qui devrait les accompagner pour éviter quelques désillusions.

**De nouveaux défis apparaissent aussi sur les questions éthiques et déontologiques** et nous cherchons à compléter la formation des futurs ingénieurs par des interventions de collègues issues des sciences humaines et sociales comme, par exemple, le module « société numérique » construit en 2018 par David Wittmann, notre collègue philosophe. La question de l'acceptabilité sociale finira bien par s'imposer comme un verrou majeur et nous pensons qu'elle passera aussi par davantage de transparence sur les processus de décision implantés dans les machines. Les géants de l'informatique ont des stratégies efficaces : disposer d'infrastructures matérielles extrêmement puissantes, avoir mis en place des dispositifs d'aspiration d'immenses masses de données et recruter les meilleurs spécialistes y compris, parfois, des insalien(ne)s ! Ils peuvent alors proposer de nouveaux types de services intelligents et vendre, par exemple, des prédictions à des clients qui ne peuvent disposer de tous ces moyens. On voit bien ici que la question de la transparence - pourquoi tel modèle réalise telle ou telle prédiction ? - interpelle et doit être mieux traitée lors de la formation des spécialistes de demain. |



Unité mixte de recherche (UMR 5205), le Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information (LIRIS) est porté par le CNRS, l'INSA de Lyon, l'Université Claude Bernard Lyon 1, l'Université Lumière Lyon 2 et l'École Centrale de Lyon. Il compte 327 membres, et a

pour principal thème scientifique l'Informatique et plus généralement les Sciences et Technologies de l'Information.

<https://liris.cnrs.fr>