



2022



Programme de chaires **Numérique durable**

#01

*Artificial Intelligence
& Complexity [AIC]*



Un programme de chaires d'excellence au service d'un numérique durable



Par Alexandre Bounouh, directeur du CEA-List

L'Institut CEA-List focalise sa recherche technologique autour des systèmes numériques intelligents. Ses programmes de R&D, centrés sur l'intelligence artificielle (IA), l'industrie du futur et la confiance numérique, ont vocation à soutenir la compétitivité de l'industrie en développant des innovations technologiques en rupture, centrées sur l'humain et porteuses de valeurs de responsabilité sociale et environnementale.

C'est pour renforcer cet engagement de responsabilité que le CEA-List lance le programme "Chaires d'excellence numérique durable". Cette initiative porte l'ambition de nos équipes de recherche de développer des technologies numériques à fort impact, celui de transformer profondément nos sociétés et nos économies, et inscrire la transition numérique dans un cercle vertueux et durable.

Le programme "Chaires d'excellence numérique durable" va nous permettre de lancer plusieurs chaires de haut niveau, ouvertes aux chercheurs issus des laboratoires du CEA-List, en association avec d'autres scientifiques de renom du monde académique ou industriel, au niveau national et international. Chaque chaire d'excellence sera dotée d'un financement de 1.5 M€ sur une durée moyenne de 4 ans.

Aujourd'hui, j'ai l'immense plaisir d'annoncer le lancement de la première chaire du programme, intitulée "*Artificial Intelligence and complexity*" (AIC). Elle est portée par Mohamed Tamaazousti, ingénieur-chercheur au CEA-List, en association avec Vincent Rivasseau, physicien mathématicien du Laboratoire de physique des deux infinis Irène Joliot-Curie de l'Université Paris-Saclay. Elle impliquera une équipe pluridisciplinaire d'experts en IA, en mathématiques appliquées et en physique théorique.

La Chaire AIC cherche à révolutionner le domaine de l'IA en s'attaquant au paradigme de l'apprentissage profond ou *Deep learning* (DL) qui, même s'il ne cesse de démontrer des performances de prédiction impressionnantes, manque de garanties en termes de robustesse, de sûreté et de prédictibilité. Cela constitue un frein sérieux au déploiement massif des applications d'IA, celui-ci exigeant de la confiance et de la frugalité, ce qui est loin d'être l'apanage du DL. Pour ses travaux, l'équipe AIC s'appuie sur de puissants outils de la physique théorique, conçus pour décrire la complexité de l'Univers, afin de détailler les mécanismes et les propriétés universelles de l'IA.

La rupture dans laquelle nous projette la Chaire AIC est tout simplement vertigineuse car il s'agit ni plus ni moins de construire une IA responsable, sûre et de confiance avec infiniment moins de données et de ressources de calcul, en rupture par rapport au *Deep learning*. ■



Par Sylvie Retailleau, présidente de l'Université Paris-Saclay

L'Université Paris-Saclay porte une grande attention à sa mission de recherche, qu'elle mène de concert avec les organismes de recherche partenaires de l'Université. En ce qui concerne le CEA-List, cette recherche touche en particulier aux systèmes numériques intelligents. Les collaborations de recherche entre les unités de l'Université - notamment celles de l'Institut Convergences Data-IA - et le CEA-List, contributrices des *Graduate School* «Informatique et sciences du numérique», «mathématiques» et «Sciences de l'Ingénierie et des systèmes», mobilisent la diversité des sciences du numérique et abordent une variété de sujets applicatifs : santé, mobilité, cybersécurité, environnement, entre autres.

La qualité des travaux réalisés démontre que notre écosystème scientifique, rapprochant les acteurs majeurs de la recherche et de l'innovation, sait être à la hauteur des défis sociétaux auxquels la Nation est confrontée.

Le programme de chaires d'excellence au service d'un numérique durable porté par le CEA-List jouera un rôle fondamental pour renouer le dialogue scientifique avec la société, et redonner confiance en la science, en démontrant qu'elle sait être responsable tout en restant ambitieuse.

La première chaire «*Artificial intelligence & complexity*» vient d'être attribuée à un binôme auquel appartient Vincent Rivasseau, professeur des Universités à la Faculté des Sciences d'Orsay, «*physicien mathématicien*», dont la recherche entend s'appliquer à l'intelligence artificielle.

C'est une grande fierté pour la physicienne que je suis de voir un membre du tout nouveau Irène Joliot Curie Laboratoire [l'héritier des premiers scientifiques à s'être installés dans la vallée de l'Yvette, là où émergera l'Université Paris-Sud] collaborer avec les équipes du CEA-List, et ouvrir la voie à d'autres collaborations dans le cadre de ce programme de chaires. ■

Artificial Intelligence & Complexity

Deux grands défis pour l'IA

Sobriété & transparence



Mohamed Tamaazousti est titulaire de la Chaire AIC.

Opaque, énergivore, peu flexible, à la fiabilité incertaine, le moins que l'on puisse dire est que l'Intelligence Artificielle (IA) doit encore répondre à de nombreuses questions pour espérer poursuivre son déploiement dans nos sociétés. Ces doutes proviennent essentiellement des limites intrinsèques aux technologies d'apprentissage automatique (*Machine Learning*, en anglais). La chaire IA et Complexité (AIC) du CEA-List a pour objectif de construire un nouveau paradigme d'IA au moins aussi performant que l'existant mais en cohérence avec les objectifs de développement durable : c'est-à-dire en optimisant les besoins en calcul ou en données au strict nécessaire et en assurant une transparence sur son fonctionnement. L'IA frugale et de confiance est la garantie d'un déploiement opérationnel au service des citoyens.

Concevoir une IA, c'est construire la suite d'opérations qui va permettre d'effectuer la tâche à réaliser. La difficulté est que construire la suite d'opérations permettant par exemple de reconnaître un chat dans une image n'est pas chose aisée. Dans le *Machine Learning*, on confie cette construction à un processus d'apprentissage qui partant d'une solution prédéfinie d'un ensemble de fonctions génériques (on parle d'un modèle) va le spécialiser, le paramétrer. Dans notre exemple, des images "avec chat" et "sans chat" vont permettre d'optimiser automatiquement les paramètres du modèle jusqu'à ce que l'algorithme réponde correctement à la question posée.

À ce jeu de l'apprentissage, l'emblématique *Deep Learning* (DL) utilisant des réseaux de neurones profonds (au sens du nombre considérable d'opérations élémentaires à réaliser) a révolutionné la compréhension ou la génération des images, du texte et des signaux. S'il est aujourd'hui imbattable sur de nombreuses tâches, il demande une puissance de calcul gigantesque et un volume massif de données. Pour le frugal, c'est donc raté et ce n'est pas mieux pour la confiance car le résultat de l'apprentissage n'offre aucune explication sur les mécanismes sous-jacents au processus de décision ni garanties de bon fonctionnement, dans tous les cas possibles. Malgré la mobilisation de la communauté scientifique pour comprendre le comportement du DL, le résultat final semble encore bien loin.

Notre proposition est de détourner les meilleurs outils de la physique théorique, initialement conçus pour décrire la complexité de l'Univers, pour les appliquer au traitement des données complexes au cœur des programmes du CEA-List (images, textes, signaux) et nous offrir ainsi les moyens de décrire les mécanismes de l'IA à travers l'étude de leurs propriétés d'universalité.

Ces travaux exploratoires, qui se dérouleront au sein de la Chaire de recherche AIC lancée en avril 2022, seront portés par Mohamed Tamaazousti, ingénieur-chercheur au CEA-List, sur une durée de 3 à 4 ans.

- ÉTAPE 1 -

Peut-on revisiter les modèles DL et remplacer des modules abscons et calculatoires par des composants dont le fonctionnement serait optimal et explicable ? Remplacer le moteur "boîte noire", hasardeux et énergivore, de notre véhicule par un moteur sobre au fonctionnement clair et au comportement parfaitement prévisible ?

- ÉTAPE 2 -

En répétant cette opération sur l'ensemble des modules du modèle de DL, proposer finalement un paradigme de développement responsable de systèmes à base d'apprentissage, c'est-à-dire ne consommant que le juste besoin de calcul et de données et dont le comportement serait prévisible ? Cerise sur le gâteau, cette prédictibilité ouvrirait la voie à l'universalité de cette IA : apporter la bonne réponse à chacun des problèmes posés. ■

"Les forces économiques et scientifiques de notre pays doivent se mobiliser pour réussir la transition numérique de notre économie et la transition écologique de notre société tout entière. Le CEA-List, totalement engagé dans ce double défi, lance son programme de chaires d'excellence Numérique Durable, et notamment la chaire Artificial Intelligence & complexity, pour explorer l'Intelligence Artificielle (IA), discipline omniprésente, qui doit être une part de la solution et non un problème de plus à gérer. Par ses performances remarquables, le Deep Learning a révolutionné l'IA, mais au prix d'approches énergivores, "datavores" et au comportement, au final, obscur. La chaire AI & Complexity a l'ambition, par une approche théorique innovante, d'inverser ce paradigme et de définir par construction une IA certes capable d'appréhender la complexité des applications, mais frugale en calcul et en données, et de confiance car explicable. Déjà révolutionnaire pour l'IA, cette vision ouvre de surcroît des voies de recherche pour le monde du calcul quantique."

Patrick Sayd, Responsable IA Langage et Vision - CEA-List.

La chaire AIC s'inscrit dans le programme “*IA responsable*” du CEA-List



*François Terrier est Directeur de recherche,
IA responsable, CEA-List.*

QUE REPRÉSENTE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN TERMES ÉCONOMIQUES ?

L'IA est devenue en quelques années un enjeu économique et stratégique majeur : du commerce et la finance à la santé et au bien-être jusqu'aux mondes virtuels ; du téléphone portable aux véhicules autonomes et installations industrielles ; de l'énergie et la défense à l'économie durable. On parle de plus de 10% de l'activité économique dans le monde, c'est considérable pour un même domaine technologique et cela aura un impact massif, qu'il faudra parfaitement maîtriser aussi bien dans les processus de fabrication que dans les utilisations.

Déjà dans le grand public, l'IA offre des perspectives pour les produits et les systèmes industriels transférant un usage du "tout dans le nuage" (*cloud*) à "l'IA partout" (embarqué) qui pourrait devenir prépondérant et modifier les priorités techniques et scientifiques. Ainsi, l'exploitation généralisée des technologies de l'IA, en particulier à base d'apprentissage machine, soulève des questions fondamentales autour de deux enjeux sociétaux et technologiques complexes :

Il n'y aura pas d'IA sans confiance ! C'est-à-dire sans assurer la robustesse, la sûreté, la confidentialité et la certification des systèmes à base d'IA.

L'IA se doit d'être durable ! C'est-à-dire qu'il faut redécouvrir des capacités de frugalité en termes de données, de calcul et de consommation d'énergie.

COMMENT ENVISAGEZ-VOUS DE RELEVER CES DÉFIS ?

Pour répondre à ces enjeux, et permettre un déploiement des technologies de l'IA en toute confiance et durable en termes de ressources, nos recherches visent des ruptures scientifiques et techniques sur trois axes complémentaires et interdépendants.

1. La mise au point de méthodes de conception et d'analyse mathématiques pour s'assurer du bon fonctionnement des systèmes à base d'IA, notamment par les techniques d'interprétation abstraite, de preuves de propriétés de robustesse, d'évaluations statistiques

et de suivi dynamique du domaine de fonctionnement des systèmes. Elles permettront progressivement d'atteindre les niveaux de qualité exigés pour les systèmes les plus critiques.

2. Le développement de nouvelles approches de mise en œuvre de l'IA au plus près des usages et des données, de l'embarqué aux grands systèmes distribués, via : de nouvelles architectures et composants de calcul très basse consommation, très intégrés et performants ; des cadres théoriques d'apprentissage machine distribués résilients et durables, réduisant les besoins communication et en renforçant la confidentialité de l'information.

3. Et enfin, l'élaboration de méthodes d'apprentissage permettant de réduire les besoins en données et en calcul, favorisant la réutilisation des modèles existants, mais aussi capables de piloter l'apprentissage pour l'optimisation de l'implantation finale et ses besoins en ressources et consommation d'énergie.

COMMENT LES TRAVAUX DE LA CHAIRE AIC S'INSCRIVENT-ILS DANS CE PROGRAMME ?

Si la confiance semble accessible pour certaines applications et des gains de plusieurs ordres de grandeurs en frugalité semblent atteignables sur la construction et l'usage des systèmes à base d'IA, il reste nécessaire d'explorer de nouvelles voies et cadres conceptuels de conception d'IA intrinsèquement frugaux sur toute la chaîne et facilitant sa qualification et l'établissement de la confiance. C'est l'objectif de la première chaire " Intelligence artificielle et complexité " du programme de chaires " Numérique durable ".

Ces travaux permettront au CEA de proposer de nouveaux usages et applications à base d'intelligence artificielle au service de la science, de la société, de l'industrie et le tout dans le respect des enjeux et des valeurs européennes, éthiques et environnementales. ■

"La physique a toujours été une source d'inspiration pour l'IA, puisque dès 1982 Hopfield a montré que certains réseaux de neurones ont une structure similaire à celle d'un verre de spin. Depuis, de nombreux travaux ont rapproché la physique statistique des réseaux par apprentissage. La chaire AI & complexity s'inscrit dans cette problématique puisqu'elle ambitionne d'utiliser les outils de la théorie des champs et des Groupes de Renormalisation pour proposer une alternative aux approches de deep learning et l'avènement de systèmes d'IA moins consommateurs de données et de puissance de calcul."

Jean-Noël Patillon, Directeur adjoint, Science et programmes - CEA-List.

LE TITULAIRE DE LA CHAIRE, MOHAMED TAMAAZOUSTI



Mohamed Tamaazousti est expert en sciences des données et Intelligence Artificielle [apprentissage automatique, reconnaissance des formes, analyse spectrale] et de leurs applications à divers types de données, notamment les données visuelles [images RGB, hyperspectrale, vidéo].

Titulaire depuis 2010 d'un Master en mathématiques appliquées de l'Université d'Orléans, Mohamed a obtenu son doctorat sur la vision 3D en 2013 à l'Université Clermont Auvergne.

Il a plus de 10 ans d'expérience dans le développement de solutions d'IA pour un large éventail de problèmes qu'il adresse dans le cadre de ses recherches au CEA-List [Université Paris-Saclay]. Mohamed explore des sujets d'IA aussi bien d'un point de vue pratique, comme le rendu visuel et de vision 3D, qu'à l'interface entre IA et physique théorique. Ses travaux récents abordent ainsi le développement d'algorithmes innovants pour l'analyse spectrale de données complexes.

Son approche de recherche est résolument collaborative, avec des partenaires pluridisciplinaires tant du monde académique qu'industriel. Outre les équipes du List, Mohamed collabore plus spécifiquement avec les physiciens Vincent Rivasseau [IJCLAB] et Dyne Ousmane Samary [ICMPA-UNESCO Chair] au sein de la chaire AIC.

AGENDA

Le Séminaire
scientifique
de présentation
de la Chaire "Artificial
Intelligence &
Complexity" aura lieu
le jeudi 7 juillet 2022



au CEA-List
[Nano-INNOV]

INSTITUT CEA-LIST
2 bd Thomas Gobert
91120 PALAISEAU

list.cea.fr

