



© 20637297 - AdobeStock

# ● RAPPORT D'ACTIVITÉ DU CEA-LIST

# SOMMAIRE

## SOMMAIRE p 2



© Rawpixel.com - Freepik.com

## LE CEA-LIST EN QUELQUES MOTS

Edito	p 3
Au service de la société	p 4
L'apport du numérique à la santé	p 5
Nos domaines de recherche	p 6
Notre écosystème	p 7



© Sac70 - Freepik.com

## L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE p 9

Nos faits marquants	p 10
Focus : Mohamed Tamaazousti	p 10
Focus : Zakaria Chihani	p 13



© Ipopba - Freepik.com

## LA CONFIANCE NUMÉRIQUE p 14

Nos faits marquants	p 15
Entretien : Sara Tucci, Antonella Del Pozzo et Alvaro Garcia Perez	p 16



© Upklyak - Freepik.com

## L'INDUSTRIE DU FUTUR p 19

Nos faits marquants	p 20
Entretien : Selma Kchir, Matteo Morelli et Mehdi Darouich	p 21
Focus : Gwenaël Toullelan	p 23
Entretien : Guillaume Laffont et Bastien Chapuis	p 24

## LES STARTUPS p 26

## LES ÉVÈNEMENTS DE L'ANNÉE 2021 p 28

## PRIX ET DISTINCTIONS p 30

### Rédaction :

Christophe Jardin - 06 81 06 81 35

### Création graphique :

Bruno Fouquet - 06 76 17 79 28

### Crédits photographiques :

Droits réservés, CEA,  
Phillippe Stroppa,  
Et Hop Studio - Bruno Romain,  
Arcure, Florence Pillet,  
Peach Fotolia@AdobeStock,  
Cyrille Dupont, production  
Perig@AdobeStock, Isybot,  
Alphaspirit, Adobestock Skorzewiak,  
Immimagery@AdobeStock,  
Kalray, Peshkova Fotolia,  
Light&Shadows,  
ZinetroN@Adobestock,  
Krisana AdobeStock,  
20637297 - AdobeStock,  
sakkmasterke phonlamaiphoto  
AdobeStock, nobeastsofierce  
AdobeStock,  
Sac70 - Freepik.com,  
Ipopba - Freepik.com,  
Upklyak - Freepik.com,  
Rawpixel.com - Freepik.com,  
Pugun & Studio stock.adobe,  
iStock.

# LE CEA-LIST EN QUELQUES MOTS



© DR

EDITO

## ALEXANDRE BOUNOUH

DIRECTEUR DU CEA-LIST

C'est toujours un moment particulier que celui où, comme chaque année, nous publions notre rapport d'activité du CEA-List qui revient sur les réalisations et les succès de nos équipes de recherche. L'édition 2021 est particulièrement riche car elle est le reflet d'une période marquée par une situation de rebond spectaculaire de l'activité économique dans tous les secteurs, contrastant avec la situation de la première année de la pandémie du Covid. L'année 2021 a été en effet une source d'opportunités nombreuses de lancement de nouveaux projets de ressourcement et de plateformes de recherche et d'innovation, ce qui nous permet de soutenir avec beaucoup de confiance, les ambitions de notre plan de développement stratégique.

L'engagement de nos équipes a été sans faille en réponse à la mobilisation sollicitée par les pouvoirs publics dans leur volonté de dynamiser l'industrie française et d'accompagner son renouveau par la recherche et l'innovation. Nous avons ainsi relevé d'immenses challenges en répondant massivement aux nombreux appels à projets lancés dans le cadre des plans de relance, « *France relance* » puis « *France 2030* », PIA4 et Stratégies d'Accélération. Mais au-delà, nos équipes ont participé à la définition-même des contenus et feuilles de route scientifiques de ces stratégies nationales alimentant chaque fois nos programmes de recherche pour qu'ils soient alignés avec les orientations et les ambitions nationales.

Dans ce cadre, nous avons construit une offre de projets très large avec nos partenaires académiques et industriels, s'inscrivant parfaitement dans nos thématiques scientifiques. De grands programmes ont ainsi vu le jour parmi lesquels OTPaaS sur la thématique Edge-Cloud, INCCA sur la digitalisation du contrôle dans l'aéronautique, NeVeOS sur les architectures de calcul centralisées pour l'automobile, JENII sur les réalités virtuelle et augmentée pour la formation ou Udd@Orano sur la transformation numérique de l'usine nucléaire de demain.

D'autres grands programmes structurants ont été proposés en lien avec la filière « *Solutions Industrie du futur* » comme PRISM, une plateforme Lab-2Fab (du laboratoire à l'usine) ayant pour objectif d'accélérer le développement de l'offre française de solutions innovantes pour l'industrie du futur. Elle

nous permettra d'accompagner les entreprises dans le développement d'innovations à partir de briques technologiques numériques à l'état de l'art international. Cette plateforme offrira à l'écosystème industriel français (startups, PME, ETI, grands groupes) une infrastructure et un patrimoine de technologies facilement adaptables pour développer de nouveaux produits et de nouvelles solutions répondant aux besoins de modernisation et de transformation de l'industrie française.

Le volet ressourcement technologique n'est pas en reste, notamment à travers les Programmes et Equipements Prioritaires de Recherche (PEPR) pour lesquels nous avons été sollicités, avec d'autres organismes de recherche (INRIA, CNRS, IMT), pour proposer conjointement des programmes scientifiques dans plusieurs domaines comme le quantique, la cybersécurité, le cloud, la 5G, la robotique, la santé numérique ou encore l'IA... Cela constitue une formidable occasion de travaux d'excellence sur ces thématiques en collaboration avec les meilleures équipes de recherche françaises.

Enfin, l'Europe reste un très fort levier d'innovation avec ses nouveaux programmes Horizon Europe et Digital Europe dans lesquels nous enregistrons encore une fois de très beaux succès (32 % de taux de succès sur plus d'une centaine de projets déposés). Ce résultat remarquable en dit long sur le haut niveau de maturité et de professionnalisme que nos équipes ont acquis, qui leur permet par ailleurs de participer activement à la structuration des instances de coordination européennes en cybersécurité et en IA & Robotique.

En conclusion, l'année 2021 est un cru exceptionnel pour notre institut qui a vu beaucoup de nos projets importants se réaliser et d'autres mis en trajectoire avec le souci permanent de servir nos partenariats par une recherche scientifique de haut niveau.

Nos équipes auront l'occasion de le démontrer dans le cadre des projets Moonshots du CEA avec trois démonstrateurs, sur la « *Blokchain verte* », sur le « *Robot auto-apprenant* » et sur une « *Plateforme multimodale pour le contrôle de l'environnement* » qui seront au cours des prochaines années des vitrines technologiques de nos meilleures capacités scientifiques et techniques dans le numérique.

# LE CEA-LIST EN QUELQUES MOTS



## AU SERVICE DE LA SOCIÉTÉ

Au sein de la direction de la recherche technologique du CEA, l'institut CEA-List est spécialiste des systèmes numériques intelligents. Implantés à Saclay et à Grenoble, nous exerçons nos missions d'innovation et de transfert technologique au service de la compétitivité des entreprises selon trois axes majeurs : l'industrie du futur, l'intelligence artificielle et la confiance numérique.

Ces activités de recherche s'inscrivent dans une approche centrée sur l'humain et porteuse de valeurs sociétales et environnementales. L'éco-innovation constitue à cet égard un levier prometteur : dès la phase de conception d'une technologie numérique, nos équipes optimisent leur manière de travailler (organisation, choix des fournisseurs, télétravail...), proposent de nouvelles solutions dans une approche d'économie circulaire et adoptent une démarche d'écoconception. Orienter les comportements individuels et les organisations vers plus de frugalité et sobriété, en agissant, produisant, consommant différemment fait partie de notre quotidien et définit clairement notre vision.

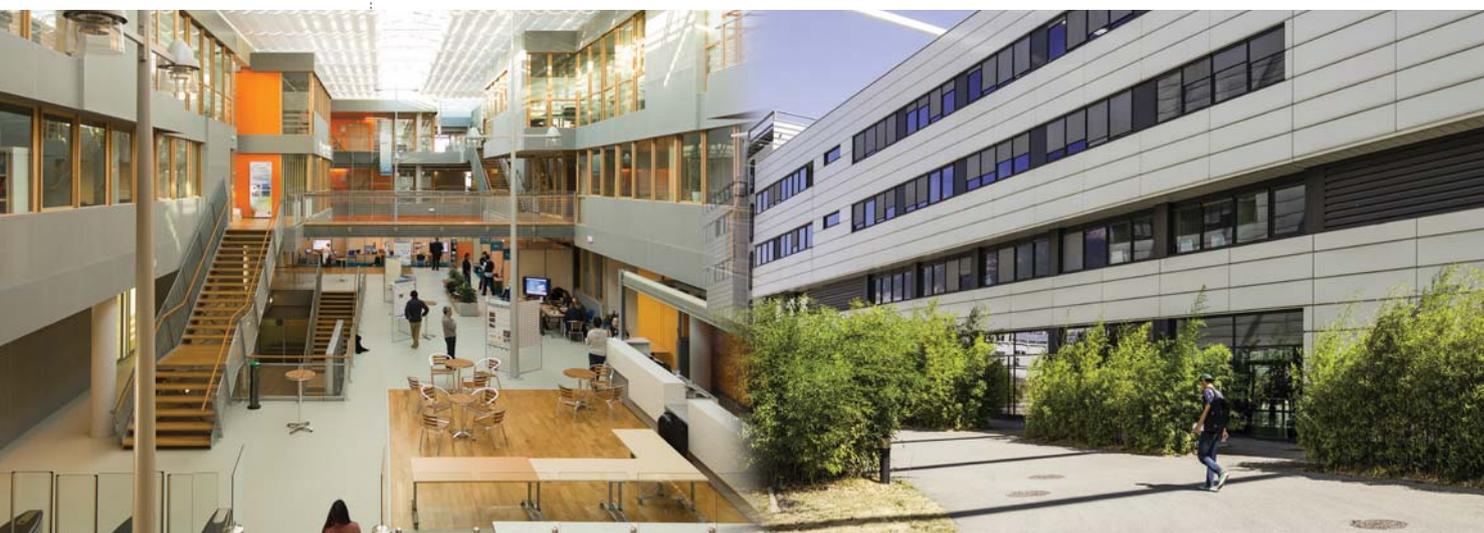
L'activité du List concourt à la performance de l'économie et à la découverte scientifique, mais également à l'amélioration des conditions de vie — au travail comme ailleurs — à la sécurité des données personnelles, à l'efficacité énergétique,

à l'économie circulaire, à la santé, à des mobilités plus économiques et décarbonées. Plus encore, à la performance du sport de haut niveau, à la culture, en conjuguant l'art et la science.

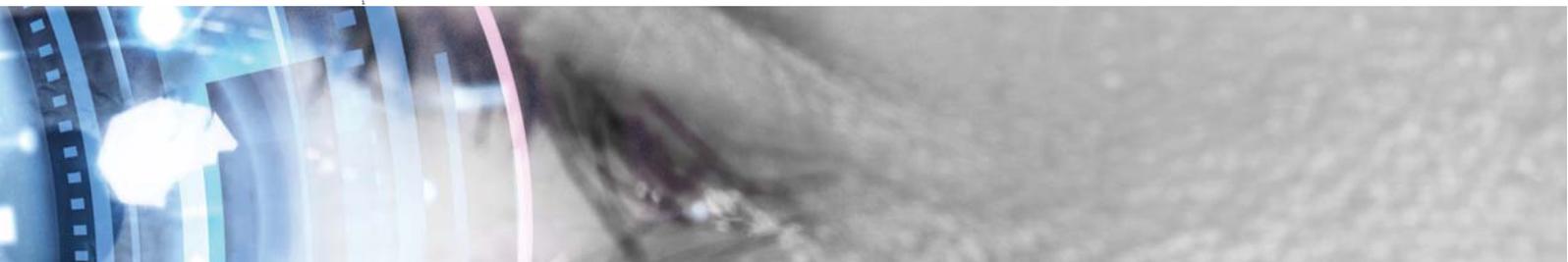
Ainsi, dans le domaine de la protection de la vie privée, l'application mobile open source YDSYO (Your Data Stay Yours), bientôt disponible en téléchargement pour le grand public, calcule le degré d'exposition au risque de fuite des données personnelles à partir des photos du smartphone et celles publiées sur les réseaux sociaux.

Dans un autre registre, certaines de nos recherches trouvent un chemin vers la création artistique avec l'atelier Art Sciences du CEA. Au sein du projet WAWY, des créateurs s'emparent de nos travaux en matière de technologies haptiques (sensation de toucher) dans les univers virtuels pour concevoir de nouveaux types de spectacles, d'expériences perceptives. Habituellement utilisé dans l'industrie pour la simulation d'opérations de manipulations, l'haptique trouve dans cet usage une utilité nouvelle à laquelle nous sommes très sensibles.

Ce dernier exemple montre que la recherche technologique, loin de se limiter à l'industrie et aux entreprises, est en prise directe avec la société, de l'innovation à l'économie et la culture.



## LE CEA-LIST EN QUELQUES MOTS



### L'APPORT DU NUMÉRIQUE À LA SANTÉ

Une tendance de fond de la médecine de demain réside dans la personnalisation thérapeutique. Grâce à la simulation, la modélisation et l'IA, les technologies numériques s'appliquent très largement au domaine de la santé : robotique médicale, aide au diagnostic, assistance à la gestion des hôpitaux, etc.

Nos compétences historiques en métrologie de la dose de rayonnements ionisants délivrés au patient pour le diagnostic ou la thérapie et notre expertise logicielle contribuent à faire progresser les approches de soins. En radiothérapie, où les traitements des cancers peuvent endommager les tissus sains, il est important d'évaluer précisément les doses indésirables (notamment les doses dites « hors champ ») dans les protocoles thérapeutiques en vue de les réduire au maximum. C'est ce que nous parvenons à faire grâce à nos outils de simulation. En imagerie scanner comme en radiologie interventionnelle, nous développons de nouveaux logiciels en vue de personnaliser la dose de rayonnement reçue par le patient tout en préservant la qualité des images.

Si nous menons des activités de recherche au bénéfice direct de la santé, certaines de nos technologies appliquées dans le domaine médical sont issues du domaine industriel. Ainsi, les techniques utilisées dans le contrôle non destructif des pièces industrielles trouvent une application dans la chaîne thérapeutique et notamment dans le traitement du cancer par effet thermique induit par les ultrasons.

Par ailleurs, nos projets de recherche sur l'imagerie acoustique passive de la cavitation à travers le crâne humain contribuent à un réel espoir de mieux traiter les maladies du système nerveux central. Les thérapies pharmacologiques en la matière ne fonctionnent pas, car les principes actifs des médicaments sont bloqués par la barrière hémato-encéphalique. Or cette dernière peut être rendue perméable en associant les ultrasons et l'injection de microbulles gazeuses pour ouvrir l'accès des molécules actives au cerveau. Cliniquement très prometteuse, la méthode est réversible, non invasive, non ionisante et reproductible.

Autre versant de nos recherches pour la santé, l'outil d'aide à la décision pour un traitement personnalisé, appelé PQAi, dans le contexte des nouvelles approches en radiothérapie. Complexes et exigeantes en termes d'assurance qualité et de temps de préparation, elles requièrent des contrôles dosimétriques systématiques pour chaque plan de traitement. Il est donc intéressant de recourir à des métriques pour quantifier la complexité de la stratégie thérapeutique afin d'évaluer la nécessité d'un contrôle qualité systématique en amont. Cette évaluation est faite par un algorithme d'apprentissage statistique est entraîné sur des données issues des résultats des plans déjà contrôlés. Un accord de licence a été signé en octobre 2021 avec la société RT3C en vue de son exploitation dans les centres cliniques.



© peshkova (Fotolia)

# LE CEA-LIST EN QUELQUES MOTS

## NOS DOMAINES DE RECHERCHE

En tant qu'institut de recherche technologique, nous répondons aux besoins des entreprises et de la société. En cohérence avec l'essor du numérique, celles-ci sont aujourd'hui centrées sur 3 grands enjeux économiques et sociétaux :



© Sac70 - Freepik.com

### L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Introduisant des changements à tous les niveaux de la société, de l'industrie à la vie privée, le développement de l'intelligence artificielle (IA) est favorisé par l'accroissement des puissances de calcul. Nos recherches sont focalisées sur l'IA de confiance, l'IA embarquée et leur frugalité, dans une approche de responsabilité sociale et environnementale.



© Ipopba - Freepik.com

### LA CONFIANCE NUMÉRIQUE

Si nous dépendons de plus en plus largement des outils numériques, il est nécessaire et même vital d'en assurer la sûreté et la robustesse. Dans des secteurs aussi sensibles que la santé, la banque, l'industrie etc., nous contribuons à répondre à ces exigences par notre vision singulière, combinant technologie et référentiel.

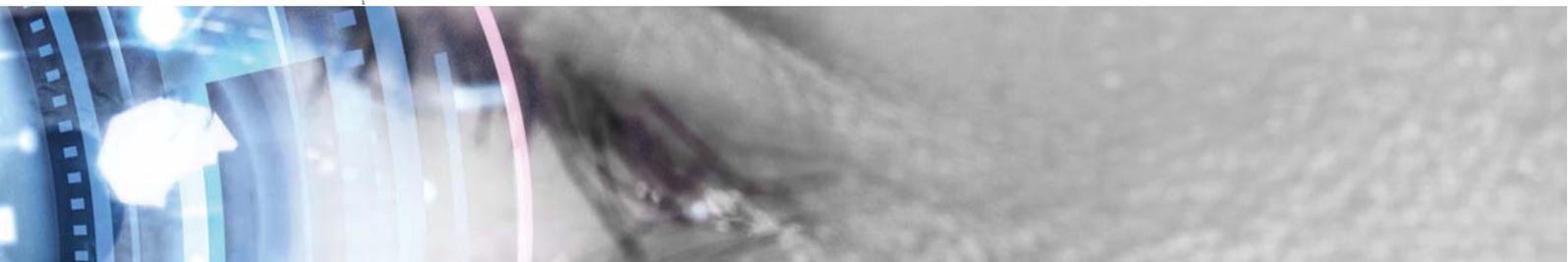


© Upklyak - Freepik.com

### L'INDUSTRIE DU FUTUR

Ce concept, centré sur la production industrielle, englobe de nombreuses dimensions, de l'approvisionnement à la logistique, voire l'urbanisation. L'usine 4.0, chaque jour plus tangible, est connectée, agile, automatisée, frugale et tend, à plus ou moins court terme, vers l'économie circulaire. À travers la robotisation intelligente (robots collaborateurs, ou compagnons) et autonome, la numérisation, la simulation, la collecte de données et leur traitement, nous visons à rendre les industries plus performantes dans une approche centrée sur l'humain et ses conditions de travail.

# CEA-LIST EN QUELQUES MOTS



## NOTRE ÉCOSYSTÈME

### DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

La vocation de transfert de technologie de notre institut s'inscrit dans des écosystèmes académique, industriel, national et international. Nous interagissons avec notre environnement scientifique pour conserver un niveau d'excellence indispensable à notre mission d'innovation. Les technologies que nous développons trouvent leur sens dans les besoins auxquels elles répondent, qu'ils soient industriels ou sociétaux.

### DES PARTENARIATS COLLABORATIFS

L'essentiel de nos ressources provient de nos partenariats industriels, directs ou via des projets collaboratifs nationaux et européens associant une grande diversité d'entreprises, startups, PME et grands groupes. Notre proximité avec les acteurs économiques a contribué, au fil du temps, à nous forger une solide culture industrielle. Grâce à ce positionnement, à l'interface de la science et de l'industrie, nous constituons des consortiums particulièrement pertinents en réponse aux appels d'offres institutionnels.

### NOTRE ÉCOSYSTÈME FRANÇAIS

Nous nous inscrivons également dans les stratégies nationales pour contribuer à de grands projets, notamment les programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR), le programme confiance.ai sur l'intelligence artificielle, la Filière Solutions Industrie du futur portée par l'alliance éponyme et le Grand Défi Cybersécurité. L'ensemble des projets que nous menons bénéficie de notre double implantation, à Paris-Saclay et Grenoble, au sein de campus multidisciplinaires de haut niveau représentant près de 25 % des effectifs de la recherche française.

Nous fédérons aussi les industriels et le monde académique autour de communautés et plateformes d'innovation telles que FactoryLab sur l'industrie du futur. Destinée à répondre à des besoins industriels mutualisés de différents secteurs, la communauté FactoryLab composée du CEA-List, d'utilisateurs finaux (grands groupes) et de fournisseurs de technologie (PME et startups) donne naissance à des démonstrateurs en vue de déploiement sur le terrain, dans des délais très courts (un an).

Cette forte activité partenariale nous a naturellement permis d'obtenir le label « *Institut Carnot* » dès sa création en 2006, quatre fois renouvelé jusqu'à aujourd'hui. Au travers de ce label, plusieurs types de projets contribuent à la vitalité de notre recherche : les projets de ressourcement Carnot, qui visent à lever des verrous technologiques et développer des technologies de rupture, mais aussi la fertilisation croisée via les filières thématiques Carnot, comme Carnauto sur la mobilité terrestre. Comme le précise Etienne Hamelin, ingénieur-chercheur au CEA-List, « *c'est grâce à Carnauto que nous avons pu financer l'achat d'un véhicule électrique que nous utilisons comme plateforme de test et de développement pour nos recherches en systèmes numériques embarqués.* »



© adobestock alphaspirt

# CEA-LIST EN QUELQUES MOTS

## NOTRE ÉCOSYSTÈME

### NOTRE ENGAGEMENT EUROPÉEN

Particulièrement engagés sur les thématiques de l'intelligence artificielle et de la cybersécurité dans une approche responsable, nous contribuons à l'autonomie et la souveraineté technologiques et industrielles européennes. Au travers des plus de 100 projets européens, dont 30 nouveaux chaque année, que nous coordonnons ou auxquels nous participons. Nous portons ces technologies jusqu'à leur déploiement industriel ou sociétal. Voici quelques exemples de projets stratégiques majeurs.

#### • SPARTA

Le réseau de compétences SPARTA (44 partenaires de 14 États membres), financé par le programme européen H2020, a renouvelé la façon dont la recherche en cybersécurité est menée en Europe. Le CEA-List a assuré sa coordination en vue de créer une politique de long terme pour définir, partager et développer des solutions de lutte contre la cybercriminalité, incluant la formation. Quatre programmes ont structuré le projet autour de la supervision de systèmes complexes sur des échelles de temps hétérogènes (T-SHARK), d'une infrastructure intelligente sécurisée dès la conception, fondée sur des approches formelles (HAIL-T), de nouvelles solutions d'évaluation pour gérer les systèmes numériques de demain (CAPE) et d'approches destinées à rendre les systèmes basés sur l'intelligence artificielle plus fiables et plus résistants (SAFAIR).

#### • STARLIGHT

STARLIGHT (Sustainable Autonomy and Resilience for LEAs using AI against High priority Threats), démarré à la fin de l'année 2021, vise à renforcer la souveraineté et l'autonomie stratégique de l'Europe via l'utilisation de l'Intelligence artificielle par les forces de l'ordre. D'une durée de 4 ans, le projet bénéficie d'un budget total de 18,8 millions d'euros, dont 17 millions financés par l'Union européenne. Coordonné par le CEA, il rassemble 52 partenaires de 18 pays européens, dont 15 représentent les forces de l'ordre. Pendant 4 ans, les partenaires travailleront au développement d'une nouvelle communauté durable et pluridisciplinaire pour offrir aux forces de l'ordre européennes des solutions d'IA interopérables et fiables défendant les valeurs éthiques et sociétales de l'UE pour faire face à des menaces hautement prioritaires.

#### • EPI

Le projet H2020 EPI (European Processor Initiative) est destiné à renforcer l'autonomie européenne en matière de calcul haute performance. Il est financé par la Commission européenne et géré par un consortium de 27 partenaires, dont le CEA-List. Cette ambition se concrétisera par la conception d'une infrastructure de supercalculateurs au niveau européen. Après 3 années de développement (2019-2021), la première phase a abouti à des réalisations importantes :

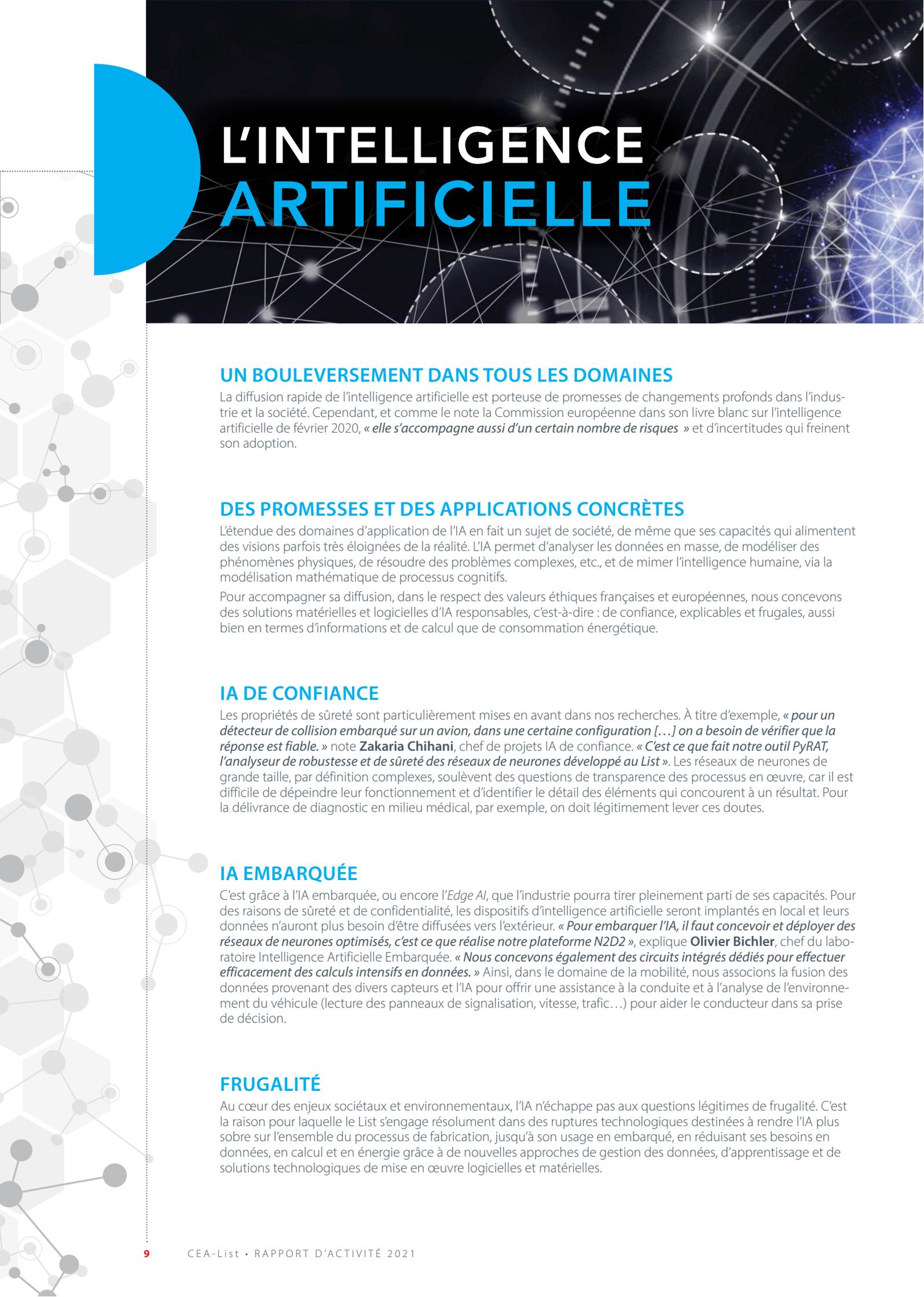
- La mise en place d'une méthodologie de co-conception entre application et architecture.
- Le développement de l'architecture de la première génération du processeur européen Rhea. Le CEA a notamment développé et intégré l'accélérateur de calcul à précision variable VRP.

Enfin, dans le cadre de la valorisation des technologies issues de l'EPI dans l'automobile, le CEA a contribué à l'analyse de timing à partir de l'« *Instruction Set Architecture* » d'un processeur, indispensable pour assurer la sûreté de fonctionnement.

### COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

Le CEA-List représente le CEA dans une dizaine d'associations européennes sur le big data (BDVA), la robotique (EU Robotics), l'usine du futur (EFFRA), les systèmes embarqués (Artemis) et la cybersécurité (ECSO) en particulier. Nous sommes également parties prenantes dans différentes communautés de l'Institut européen d'innovation et de technologie (EIT) : Digital, Food, Manufacturing.

Enfin, nous sommes engagés dans plusieurs Digital Innovation Hub (DIH) et dans l'initiative AI-DIH, réseaux de DIH européens en intelligence artificielle. Nous portons plus spécifiquement le projet DigiHall-EDIH, soutenu par la région Île-de-France, pour accélérer la transformation numérique des entreprises. Il ne s'agit pas simplement de cibler telle ou telle entité, mais aussi plus largement de développer « *un tissu de fournisseurs de technologies qui joue un rôle majeur dans la chaîne de la valeur industrielle* », comme le note **Alexandre Bounouh**, le directeur du CEA-List.



# L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

## UN BOULEVERSEMENT DANS TOUS LES DOMAINES

La diffusion rapide de l'intelligence artificielle est porteuse de promesses de changements profonds dans l'industrie et la société. Cependant, et comme le note la Commission européenne dans son livre blanc sur l'intelligence artificielle de février 2020, « *elle s'accompagne aussi d'un certain nombre de risques* » et d'incertitudes qui freinent son adoption.

## DES PROMESSES ET DES APPLICATIONS CONCRÈTES

L'étendue des domaines d'application de l'IA en fait un sujet de société, de même que ses capacités qui alimentent des visions parfois très éloignées de la réalité. L'IA permet d'analyser les données en masse, de modéliser des phénomènes physiques, de résoudre des problèmes complexes, etc., et de mimer l'intelligence humaine, via la modélisation mathématique de processus cognitifs.

Pour accompagner sa diffusion, dans le respect des valeurs éthiques françaises et européennes, nous concevons des solutions matérielles et logicielles d'IA responsables, c'est-à-dire : de confiance, explicables et frugales, aussi bien en termes d'informations et de calcul que de consommation énergétique.

## IA DE CONFIANCE

Les propriétés de sûreté sont particulièrement mises en avant dans nos recherches. À titre d'exemple, « *pour un détecteur de collision embarqué sur un avion, dans une certaine configuration [...] on a besoin de vérifier que la réponse est fiable.* » note **Zakaria Chihani**, chef de projets IA de confiance. « *C'est ce que fait notre outil PyRAT, l'analyseur de robustesse et de sûreté des réseaux de neurones développé au List* ». Les réseaux de neurones de grande taille, par définition complexes, soulèvent des questions de transparence des processus en œuvre, car il est difficile de dépendre leur fonctionnement et d'identifier le détail des éléments qui concourent à un résultat. Pour la délivrance de diagnostic en milieu médical, par exemple, on doit légitimement lever ces doutes.

## IA EMBARQUÉE

C'est grâce à l'IA embarquée, ou encore l'*Edge AI*, que l'industrie pourra tirer pleinement parti de ses capacités. Pour des raisons de sûreté et de confidentialité, les dispositifs d'intelligence artificielle seront implantés en local et leurs données n'auront plus besoin d'être diffusées vers l'extérieur. « *Pour embarquer l'IA, il faut concevoir et déployer des réseaux de neurones optimisés, c'est ce que réalise notre plateforme N2D2* », explique **Olivier Bichler**, chef du laboratoire Intelligence Artificielle Embarquée. « *Nous concevons également des circuits intégrés dédiés pour effectuer efficacement des calculs intensifs en données.* » Ainsi, dans le domaine de la mobilité, nous associons la fusion des données provenant des divers capteurs et l'IA pour offrir une assistance à la conduite et à l'analyse de l'environnement du véhicule (lecture des panneaux de signalisation, vitesse, trafic...) pour aider le conducteur dans sa prise de décision.

## FRUGALITÉ

Au cœur des enjeux sociétaux et environnementaux, l'IA n'échappe pas aux questions légitimes de frugalité. C'est la raison pour laquelle le List s'engage résolument dans des ruptures technologiques destinées à rendre l'IA plus sobre sur l'ensemble du processus de fabrication, jusqu'à son usage en embarqué, en réduisant ses besoins en données, en calcul et en énergie grâce à de nouvelles approches de gestion des données, d'apprentissage et de solutions technologiques de mise en œuvre logicielles et matérielles.

# L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE



© Cyrille Dupont

## LA LOCALISATION SANS GNSS ET LA MODÉLISATION D'ENVIRONNEMENT

Si nous disposons de cartes 3D de bonne qualité et d'informations GNSS pour nos déplacements (via les applications de nos téléphones mobiles), celles-ci sont insuffisantes voire inadaptées dans le domaine de la défense notamment. Les

systèmes de géolocalisation doivent être plus fiables et sécurisés, indépendants de toute installation pour assurer les missions et garantir la sécurité des personnels engagés dans les opérations.

Dans le cadre du challenge *MALIN* (MAîtrise de la Localisation Indoor) organisé par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) et la DGA (Direction Générale de l'Armement), le CEA-List a proposé, en partenariat avec l'entreprise Nexter Systems, un système inédit composé de quatre caméras et d'une centrale inertielle, disposé sur un casque et fonctionnant avec un ordinateur portable (en sac à dos) ; le dispositif permet la localisation en temps réel du porteur depuis un point de référence initial.

Le concept s'appuie sur les expertises de nos ingénieurs-chercheurs en reconstruction 3D automatique des environnements acquis, dans laquelle la position des capteurs est calculée. Le système atteint une grande précision, avec moins de 1 % de dérive dans la reconstruction de trajectoire sur des parcours de plusieurs kilomètres, et reste performant dans des environnements enfumés, étroits ou mal éclairés.

En perspective : la création automatique d'une cartographie en enrichissant la reconstruction 3D d'une sémantisation (nature et relations des objets observés), un partage d'informations entre porteurs (mode collaboratif) et un potentiel déploiement pour les fantassins.

## LE CEA-LIST ACCOMPAGNE LA PRÉPARATION MENTALE DES ÉQUIPES DE FRANCE

Dans le sport de très haut niveau où les curseurs, physiques, techniques et tactiques sont poussés au maximum, la dimension mentale est un facteur déterminant de la performance. Pour les sports collectifs, au-delà de la préparation individuelle, cette dimension associe psychologie et sociologie. Le projet multidisciplinaire *TeamSport*, lancé il y a un an et auquel participe le CEA-List, a pour but de modéliser et d'optimiser les comportements collectifs et apporter outils et connaissances aux staffs des équipes de France en vue des JO 2024 de Paris.

Nos chercheurs apportent leur expertise en analyse vidéo pour détecter et qualifier les attitudes des joueurs en situation de jeu. Par exemple, l'analyse des captations vidéos des entraînements de l'équipe de France de rugby à Marcoussis a déjà mis en évidence le langage corporel des joueurs lors des efforts consentis et selon les situations de jeu.

L'intelligence artificielle induira le traitement de flux massif de données issues des phases d'entraînement et de compétition en temps réel, et la mise en évidence des signaux jusqu'alors trop coûteux à quantifier. Résultat : un nouveau champ d'informations pertinentes au service des entraîneurs pour construire la stratégie et améliorer la performance de leurs équipes.

Éclairer la dynamique collective en développant les connaissances en psychologie et sociologie du sport, nourries et étayées par les données produites par l'intelligence artificielle, permettra de rationaliser la préparation mentale et l'adapter plus finement à l'équipe et aux circonstances.

Lien article  
Université Bourgogne  
Franche-Comté



## FOCUS



© DR

## MOHAMED TAMAZOUSTI

### RENCONTRE ENTRE UNE VOCATION ET L'ENVIRONNEMENT FERTILE DU CEA-LIST

Lors de ses études en mathématiques appliquées à l'université d'Orléans, la rencontre avec un professeur qui lui montre l'aspect pratique des maths joue le rôle de déclencheur. Il décide d'effectuer son stage de fin d'études au CEA-List, puis de poursuivre ses recherches dans le cadre d'un doctorat en vision pour la robotique, rattaché à l'université de Clermont-Ferrand (partenaire historique du CEA sur le sujet), avant d'être recruté comme ingénieur-chercheur au CEA-List.

### SON DOMAINE DE RECHERCHE

Ses travaux portent notamment sur les techniques de rendus visuels et l'interaction entre la matière et la lumière à l'origine de la formation de l'image elle-même et des multiples dimensions qui la composent. Il tisse un lien entre la physique fondamentale et les problématiques de l'IA pour décrypter les mécanismes permettant d'extraire de l'information dans des données complexes telles que les images (le mécanisme du cerveau humain étant un exemple remarquable) et vise à poser les fondements théoriques du deep learning en la matière, en s'éloignant de la démarche empirique.

### SON POSITIONNEMENT AU REGARD DU LIST

Mohamed est très attaché à l'écosystème du CEA, qui favorise de multiples échanges et rencontres et surtout lui donne l'opportunité de constituer une communauté autour de ses sujets de prédilection. Aujourd'hui, son domaine de recherche est devenu un axe de développement important au List.

En cohérence avec la mission du List, sa démarche est entièrement tournée vers le transfert des technologies : *« Une recherche aboutie doit infuser dans l'industrie, à travers des partenariats, et plus largement dans l'ensemble de la société. »*

# L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

## YOUR DATA STAYS YOURS (YDSYO)

### L'APPLICATION MOBILE POUR LA PROTECTION DE LA VIE PRIVÉE

« Si c'est gratuit, c'est toi le produit ». Les réseaux sociaux en particulier, auxquels l'inscription est facile et les conditions d'utilisation de service illisibles, profitent largement des données personnelles fournies par leurs utilisateurs. Une fois diffusées, elles sont échangées ou vendues à des tiers, rendant tout contrôle inopérant.

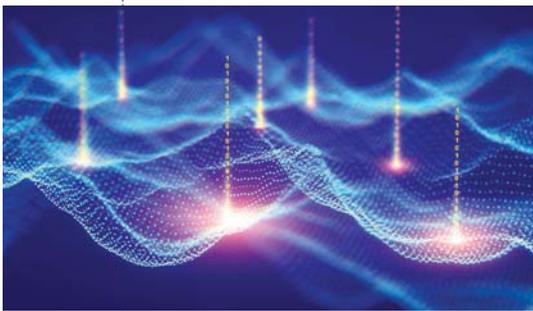
C'est pour sensibiliser les internautes à ces risques que le CEA-List a développé l'application YDSYO. Une fois téléchargée, avec l'accord de leur propriétaire, elle scrute les photos figurant sur son smartphone et/ou publiées sur les réseaux sociaux et lui envoie un feedback concernant son degré d'« exposition ». Autrement dit, une évaluation de son profil aux yeux d'un recruteur, d'un banquier ou d'un assureur. Une note du profil est justement calculée en combinant une modélisation de la situation via des concepts visuels et les détections de ces concepts dans les images des utilisateurs.

Ce travail, financé par la Fondation MAIF via le projet USCAP ainsi que par la Commission européenne via les projets PURPETS et AI4MEDIA, aboutira à une version finale de l'application, prochainement mise en ligne en open source sur le magasin d'applications Android.

Lien appli YDSYO



© DR



© nobeastsofierce AdobeStock

## AVANCÉES MÉTHODOLOGIQUES POUR L'APPRENTISSAGE FRUGAL

Les performances de l'apprentissage profond reposent sur la disponibilité d'un volume important de données étiquetées. Si la constitution de grandes bases de données n'est pas toujours un obstacle, le coût de l'étiquetage demeure souvent rédhibitoire pour les industriels. À titre d'exemple, les services d'annotation d'image sont facturés quelques dizaines de dollars pour 1000 unités. Sachant que l'entraînement intégral d'un réseau de neurones profond peut nécessiter des millions d'entrées bien choisies et correctement étiquetées, le coût induit est difficilement supportable pour la plupart des entreprises.

Dans le cadre de la thèse de Khanh Hung TRAN, des avancées originales ont été réalisées sur l'apprentissage de modèles de classification semi-supervisés, c'est-à-dire exploitant les données non étiquetées. Dans un contexte où l'on disposerait d'un nombre insuffisant de données étiquetées, notre démarche innovante consiste à exploiter les relations de voisinage existant dans l'ensemble des données disponibles.

Il en découle un schéma d'optimisation, qui peut être intégré à n'importe quel algorithme supervisé ou semi-supervisé d'entraînement de réseaux de neurones, avec des bénéfices notables en termes de précision de classification et de robustesse. Ces travaux ouvrent des perspectives pour améliorer les performances des modèles prédictifs.

Lien article



## MASTERMIND :

### STRUCTURER DES GRANDES MASSES DE DONNÉES POUR MIEUX APPRENDRE

Les techniques d'apprentissage statistique supervisées, utilisant par exemple les réseaux de neurones, s'accommodent mal d'une grande variété sémantique. Lorsque cette variété se conjugue avec des masses importantes de données et une acquisition incrémentale, il devient primordial de disposer de techniques d'indexation intelligentes, guidées par le contenu sémantique des masses de données acquises.

Au cœur du projet Mastermind retenu par l'Agence de l'innovation de défense (AID) et la Direction générale de l'armement (DGA) dans le cadre de son appel à proposition dans le domaine de l'« Intelligence Artificielle », nous avons développé de nouvelles techniques d'indexation de grandes masses de données à la volée, en respectant leur contenu sémantique. Cette première étape simplifie le processus d'apprentissage et permet de focaliser les traitements particulièrement coûteux sur une partie réduite et statistiquement homogène du matériel collecté. L'organisation des informations de manière topologique s'appuie sur une méthode inédite de clustering (par groupes) en flux. Ce principe a été déployé sur une base d'images satellitaires de haute résolution. Cette méthode possède une meilleure cohérence sémantique sur les groupes formés que le partitionnement de l'état de l'art, sans ajout de complexité algorithmique.

Cette brique logicielle élémentaire offre des perspectives pour la détection de changements dans des séries temporelles d'images, ainsi que pour l'analyse automatique de la couverture nuageuse et notamment du degré d'opacité de cette dernière. La technique mise au point pourrait être utilisée pour tout type de données, et des perspectives sont à l'étude dans le cadre de la structuration de signaux audio et de logs machines.

# L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

## SPEED

### PROTECTION DES DONNÉES D'APPRENTISSAGE SUR LES RÉSEAUX DE NEURONES

Les bases de données privées constituent un immense gisement de données, qui pourrait être exploité si leur confidentialité était garantie. Or une donnée bénéficie d'une sécurité optimale si elle reste stockée dans un serveur parfaitement sécurisé. Le CEA-List propose donc une méthode originale de partage de données pour l'apprentissage, sans aucune divulgation de bout en bout (au moment des échanges et sur les serveurs).

Baptisée SPEED (Secure, PrivatE, and Efficient Deep learning), elle garantit la confidentialité par construction selon 3 principes :

- **Partager le minimum d'informations/de données en protégeant les données**

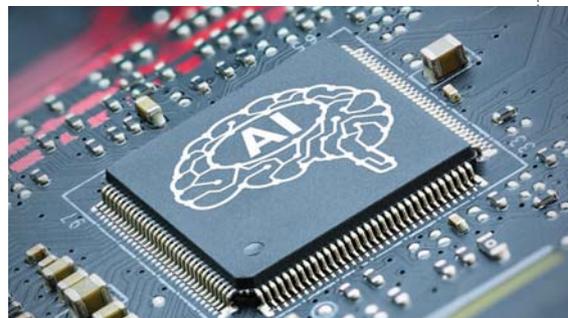
lors de l'apprentissage distribué.

- **Protéger de la rétro-ingénierie du modèle** en empêchant la reconstruction des données d'origine.

- **Se prémunir des menaces en provenance du serveur.** Le chiffrement homomorphe vient compléter les propriétés de confidentialité, le serveur d'agrégation fonctionne alors « en aveugle » uniquement sur des étiquettes chiffrées.

Grâce à l'apprentissage collaboratif, il devient possible d'entraîner des intelligences artificielles tout en minimisant les risques lors de la phase d'apprentissage et pendant l'exploitation proprement dite.

Exemple d'application : le CEA-List contribue au projet européen PRIVILEGE (PRIVacy and homomorphic encryption for artificial intelligence) qui vise à proposer une solution d'apprentissage collaboratif adaptée aux données de défense, donc préservant leur confidentialité, et à l'évaluer sur plusieurs cas d'usage opérationnels.



© iStock

## DOLPHIN DESIGN ET LE CEA

### CRÉENT UNE NOUVELLE PLATEFORME D'IA EMBARQUÉE

Pour tirer le meilleur bénéfice de l'IA, de la 5G et de l'IOT tout en évitant un déluge de données à fort impact sur l'environnement, une solution réside dans l'intégration du traitement de ces données au sein même des puces électroniques. Dès 2019, Dolphin Design SAS et le CEA-List ont créé un laboratoire commun pour proposer une offre Edge-IA alliant flexibilité du logiciel, efficacité énergétique et performances.

Le CEA-List a transféré à l'industriel son accélérateur matériel pour l'intelligence artificielle PNeuro®, en vue de le combiner aux solutions de traitement de Dolphin Design. Deux outils du CEA-List ont complété cet ensemble : l'environnement de simulation SESAM/VPSim qui permet une exploration et une validation plus rapides, et le générateur de code N2D2, qui facilite la programmation.

Dolphin Design SAS a ainsi pu consolider son offre technologique en proposant deux nouveaux produits : Chameleon (plateforme MCU innovante basée sur les événements) et Raptor (plateforme d'accélération de réseaux neuronaux pour l'IA).

Une puce de démonstration construite sur la technologie FDSOI 22 nm est déjà sortie de fabrication et les premiers éléments de mesure et de caractérisation seront disponibles courant mai 2022.

Etape suivante : un flot de génération de logiciels que les clients de Dolphin Design pourront utiliser afin de développer des applications économes en énergie et en ressources.

**En 2025, 75 % des données seront traitées localement**

Lien article Springer



© adobestock

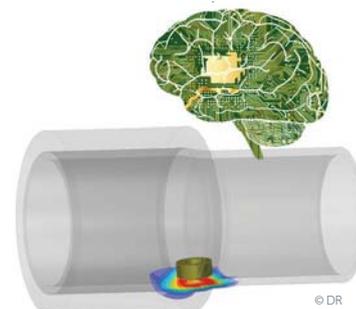
## CIVA :

### LE DIAGNOSTIC AUTOMATIQUE S'ENRICHIT AVEC L'IA

La plateforme logicielle CIVA dédiée au contrôle non destructif (CND) propose des innovations pour concevoir, évaluer et exploiter des algorithmes de diagnostics basés sur l'IA, en tirant avantage du potentiel des outils d'analyse et de simulation pour la génération et le traitement des données d'apprentissage. Un premier module de classification des données a été intégré et une preuve de concept dans le domaine du contrôle automatique de soudures réalisée.

Chaque étape de la méthode de contrôle peut être virtualisée et évaluée, avec notamment la possibilité d'optimiser les données d'apprentissage et de s'assurer de leur consistance en exploitant des mesures statistiques en grand nombre issues de modèles dédiés à la simulation intensive.

C'est une première étape vers un nouveau module CIVA Data Science dont la commercialisation est prévue pour le premier semestre 2022. Objectif : renforcer le positionnement de la plateforme dans le domaine de la conception et la démonstration de performances pour le CND, en y incluant tout le potentiel de l'IA.



© DR

# L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

## PYRAT

### ANALYSE LES PROPRIÉTÉS DE SÛRETÉ DES IA À BASE DE RÉSEAUX DE NEURONES

La société Technip Energies, spécialisée dans l'ingénierie pour l'industrie de l'énergie, développe des IA à base de réseaux de neurones pour ses systèmes critiques. Pour s'assurer de la fiabilité de ces IA, l'industriel a fait appel à l'expertise du CEA-List en méthodes formelles pour la validation de ces systèmes.

Les chercheurs du CEA-List ont pour cela développé PyRAT, un outil d'analyse de propriétés de sûreté des réseaux de neurones (NN), afin de quantifier leur stabilité face aux attaques adverses, au bruit sur des capteurs, ou encore certifier que le réseau a bien le comportement attendu.

PyRAT intègre notamment une implémentation en Python permettant de traiter directement les réseaux de neurones, une implémentation matricielle et des techniques d'interprétation abstraite, mais aussi plusieurs domaines tels que les intervalles, les polyèdres ou les zonotopes ou encore des heuristiques pour le partitionnement des entrées, en vue de leur classification.

Plusieurs cas d'études et d'usages ont été testés, chez Technip Energies en premier lieu, mais aussi chez Renault ou Airbus (sur des systèmes anticollisions). Des partenariats qui s'inscrivent sur le long terme pour améliorer encore la rapidité et la précision de PyRAT.



## FOCUS



### ZAKARIA CHIHANI

#### PARCOURS ACADÉMIQUE

Son cursus scientifique débute à l'Université d'Annaba en Algérie puis le mène jusqu'en France où il obtient deux masters puis son doctorat en informatique (sur la thématique de certification de preuves en logiques classique et intuitionniste du premier ordre) au sein de l'École Polytechnique et d'Inria. Il intègre le CEA-List en 2015, en tant qu'ingénieur chercheur au Laboratoire de sûreté et sécurité des logiciels.

#### SON DOMAINE DE RECHERCHE

Son activité est dédiée à la sûreté des intelligences artificielles (IA) depuis 2017, un domaine peu exploré jusque-là. Il s'agit tout à la fois de s'assurer de la qualité des modèles et de vérifier les propriétés de sûreté des IA. Ce sont des propriétés formelles exprimées en langage logique qui peuvent être comprises par les outils de test et de preuve formelle, dont l'outil PyRAT fait partie. Celui-ci propage des incertitudes sur les entrées, c'est-à-dire des intervalles de valeurs, et permet de dire que pour toutes les données dans ces intervalles-là, le réseau aura toujours la même réponse. On comprend mieux l'importance du sujet lorsqu'on sait qu'il s'applique aux systèmes anticollision des avions ou des véhicules en général.

#### SON REGARD SUR L'ÉCOSYSTÈME DU LIST

C'est un monde très riche selon Zakaria, puisqu'il est possible de côtoyer à la fois l'industrie à travers les partenariats et des domaines plus académiques (projets de recherche, co-encadrement de stages, de thèses). L'engagement avec le monde industriel reste pour lui une source de motivation importante, bien que plus difficile que d'autres activités liées à la recherche, car dans ce monde industriel, « *nos outils doivent fonctionner, et bien fonctionner* ».

# LA CONFIANCE NUMÉRIQUE

## UN ENJEU DE SOUVERAINETÉ ÉCONOMIQUE ET DÉMOCRATIQUE

Dans notre société numérique, les personnes, les entreprises et les services sont connectés et interconnectés. C'est un gisement de progrès et de développement important, mais qui appelle à sécuriser les données, les transactions et les infrastructures numériques, parfois en s'appuyant sur l'intelligence artificielle (IA).

Les investissements directs décidés par la Commission européenne pour l'IA se montent à 1 milliard d'euros annuels au titre des projets Europe numérique et Horizon Europe. Un vaste programme favorisant les investissements à hauteur de 20 milliards d'euros annuels est parallèlement mis en place. Dans le même temps, le plan de relance de la France récemment décidé fait la part belle à la transformation numérique. Le CEA-List, expert en systèmes numériques intelligents, dispose d'atouts technologiques pour répondre aux enjeux de la confiance numérique.

## PRÉVENIR LES MENACES

La cybercriminalité s'est massivement organisée. Elle met aujourd'hui en œuvre des moyens très importants, parfois automatisés, à la recherche de failles sur les millions de machines en réseau. Au-delà des cyberattaques les plus courantes (vols de données, escroqueries, chantages), certains États et organisations en font une arme stratégique propre à mettre en péril des pans entiers de l'économie et même à déstabiliser des gouvernements.

Les moyens de lutte se mettent en place, combinant cybersécurité et IA pour superviser l'ensemble des réseaux, identifier la source des menaces et y répondre par des moyens de protection efficaces. Le CEA-List développe de nombreuses solutions technologiques dans le domaine de la détection de vulnérabilités logicielles, notamment avec son outil Frama-C.

## DONNÉES PERSONNELLES ET VIE PRIVÉE

Lorsque des algorithmes puisent dans des millions de dossiers médicaux pour analyser les données et établir des corrélations en vue d'aide au diagnostic par exemple, il est essentiel de préserver leur confidentialité, quel que soit leur lieu de stockage (les serveurs d'hôpitaux ou d'autres organismes de santé) et d'utilisation. Pour sécuriser cet écosystème, Le CEA-List a développé la technologie Cingulata qui rend possible le calcul sur données cryptées de pair à pair, sans jamais les dévoiler. Cette solution peut être déployée dans le cloud pour répondre aux besoins de souveraineté de l'industrie et d'autres domaines.

*« On a pu très tôt, dès l'apparition du concept, accompagner les améliorations de la cryptographie homomorphe et contribuer scientifiquement aux problèmes qui se posaient, on avait aussi pris de l'avance, au moins trois ou quatre ans, quand d'autres ont commencé à s'y intéresser »* souligne **Renaud Sirdey**.

## LA BLOCKCHAIN

La technologie blockchain est par essence décentralisée, distribuant les données entre parties prenantes interconnectées, sans instance centralisée. Les cryptomonnaies, au premier rang desquelles le Bitcoin, s'appuient sur cette technologie, mais leur consommation énergétique est phénoménale. Au List, nous prenons en compte la frugalité des systèmes, de leur conception à leur exploitation dans une approche de responsabilité sociétale et environnementale. C'est à la fois l'ADN du List et de nos ingénieurs-chercheurs : *« C'est vraiment la partie la plus intéressante que de s'emparer des connaissances théoriques pour résoudre un problème concret, celui de réduire la consommation énergétique des blockchains »* affirme **Antonella Del Pozzo**.

# LA CONFIANCE NUMÉRIQUE



## SNOWPACK

### UNE SOLUTION LOGICIELLE D'ANONYMISATION ET DE SÉCURISATION DES COMMUNICATIONS RÉSEAU

Comment assurer l'intégrité des échanges sur internet ? En se basant sur une technologie innovante du CEA-List, la startup Snowpack offre une solution combinant anonymat et sécurité : les paquets transmis sont divisés en fragments complémentaires anonymisés s'apparentant à du bruit, les « snowflakes » (flocons), qui sont ensuite acheminés par des chemins distincts. Il est donc impossible pour un attaquant de reconstituer correctement l'information originale.

Snowpack permet de s'affranchir de tout tiers de confiance et, en mesurant et contrôlant en temps réel la qualité de sécurité offerte par le réseau, de s'affranchir également de l'obligation de confiance dans l'infrastructure matérielle et logicielle sous-jacente. En outre, Snowpack permet de prévenir les attaques exploitant la visibilité des métadonnées (adresses IP) des flux transitant sur les réseaux de télécommunication, y compris à l'échelle de l'Internet.

Sa solution vient renforcer les technologies de chiffrement qui demeurent susceptibles de présenter des vulnérabilités. Les opérateurs du service n'ont pas la possibilité de remonter aux identités des utilisateurs, mais peuvent cependant filtrer l'accès à des sites illégaux, déclinant ainsi le service d'invisibilité sous un angle éthique.

Snowpack sera exploitée par la startup éponyme, créée le 30 mai 2021. La startup, qui déploie actuellement son infrastructure en overlay (réseau superposé) dans des centres de données de plusieurs pays européens, ambitionne de devenir le premier réseau d'invisibilité sur Internet.

Lien article



## CINGULATA

### OPTIMISATION DU FHE (FULLY HOMOMORPHIC ENCRYPTION) ET VALORISATION DE LA TECHNOLOGIE DE CALCUL SUR DONNÉES CHIFFRÉES

La mise en péril des données personnelles prend aujourd'hui un relief particulier. Les attaques informatiques dans des secteurs aussi variés que le médical, le commerce, la banque, l'industrie se multiplient. Par ailleurs, l'externalisation de l'hébergement et de l'analyse de données sur des serveurs distants exposent des informations à caractère privé. « Les millions de lignes de code des logiciels présents dans les ordinateurs recèlent de nombreuses vulnérabilités. D'où l'intérêt de notre technologie de chiffrement homomorphe » explique Renaud Sirdey, expert du domaine au CEA-List.

Le chiffrement pleinement homomorphe (Fully Homomorphic Encryption ou FHE) renforce la confidentialité des données en les rendant manipulables sous leur forme chiffrée. Seule la personne détenant la clé de déchiffrement peut accéder au résultat des opérations en clair. Avec la technologie Cingulata du CEA-List, développée dès 2011 et basée sur la FHE, il est possible de créer et déployer des applications de traitement et d'analyse de données sur des serveurs distants tout en préservant leur confidentialité de bout en bout, sans avoir recours à du hardware de confiance.

La mise en œuvre de Cingulata est maintenant facilitée grâce à la plateforme Cloud du CEA, appelée Bigr. Cette dernière a d'ores et déjà permis d'évaluer la technologie sur des cas réels d'industriels, avec la mise en place de 2 démonstrateurs de maintenance prédictive. Elle prouve ainsi la valeur ajoutée de cette technologie et notre capacité à la déployer pour offrir à la France et à l'Europe une solution cloud souveraine.



© DR

## CLEARMATICS

### CLEARMATICS FIABILISE SA BLOCKCHAIN GRÂCE AU CONSENSUS IMMÉDIAT

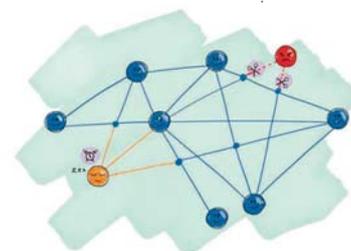
La blockchain pair à pair de Clearmatics doit tolérer la participation d'acteurs qui entravent son bon fonctionnement. Les équipes du CEA-List ont mis à disposition leur expertise pour tracer certains comportements, réduire leur nombre au sein du système et assurer la fiabilité des échanges. Dans un contexte de marché réel, la transaction inscrite doit être immédiatement enregistrée, sans passer par la période de confirmation habituelle des blockchains classiques (Bitcoin), ni disparaître.

Les blockchains basées sur le consensus immédiat répondent à ce besoin. Elles tolèrent un certain nombre de participants (moins d'un tiers du nombre total) dits « nuisibles », malveillants, opportunistes ou inactifs qui empêchent le bon fonctionnement du système. Mais comment distinguer les comportements nuisibles et les failles du système ? Une réception tardive de message est-elle le fait d'une action volontaire de l'émetteur ?

Pour détecter les participants nuisibles et limiter leur présence, le CEA-List propose deux algorithmes.

- Un algorithme de preuve des infractions au protocole et de traçage des responsables, inspiré des recherches en systèmes distribués.
- Un algorithme d'incitation à la participation, qui récompense les membres actifs selon la quantité de messages échangés.

Ces résultats sont exploités dans le projet Carnot Fantastyc, avec l'objectif d'automatiser la conception du module de traçage de responsabilité à partir d'un protocole dédié.



© DR

# LA CONFIANCE NUMÉRIQUE

ENTRETIEN



Sara Tucci

Antonella Del Pozzo

Álvaro García Pérez

## ENTRETIEN AVEC SARA TUCCI, ANTONELLA DEL POZZO ET ALVARO GARCIA PEREZ

**Sara Tucci, Antonella Del Pozzo et Álvaro García Pérez** sont ingénieurs-chercheurs au List. Leurs spécialités respectives couvrent un spectre large, lié à la blockchain, du génie informatique à l'apprentissage fédéré. Sara Tucci est par ailleurs cheffe de laboratoire et responsable du programme blockchain. Ils nous livrent ici quelques réflexions sur ce domaine particulier de la confiance numérique.

### COMMENT LE CEA-LIST INTERVIENT-IL SUR LA CONFIANCE NUMÉRIQUE AVEC LA BLOCKCHAIN ?

**ST :** nous avons des postures différentes liées à la nature des demandes qui nous sont faites. Certains partenaires sont déjà eux-mêmes spécialistes de la blockchain. Ce qu'ils nous demandent, c'est de trouver des solutions encore plus performantes en la matière. C'est très valorisant pour nos compétences car peu de laboratoires dans le monde sont capables de faire cela.

**ADP :** notre partenariat avec Clearmatics est emblématique de notre apport puisqu'il s'agit de fiabiliser une blockchain pour les marchés financiers en supprimant le temps de latence des blockchains classiques entre autres.

**ÁGP :** nous avons des collaborations avec des partenaires de domaines variés comme la finance, la logistique, la gestion d'énergie, les chaînes d'approvisionnement, l'Internet des objets, l'apprentissage fédéré. Il y a beaucoup de domaines d'application dans lesquels des entités interagissent sans se connaître, et une blockchain fiable leur apporte la confiance nécessaire à leur collaboration.

### ET SI NOUS DEVIONS ENTRER PLUS EN DÉTAIL SUR VOS TRAVAUX ?

**ST :** certains interlocuteurs qui connaissent peu la blockchain nous consultent pour construire un service client innovant. C'est le cas de startups ou de grands groupes comme Veolia. Il peut s'agir de besoins de certification de produits, de projets de traçabilité. En effet, la blockchain permet de tracer toutes les étapes de fabrication, qui a fait quoi sur le produit, c'est un véritable passeport. C'est intéressant pour les voitures avec le carnet de maintenance numérique, un certificat qui atteste de tout ce qui a été fait sur le véhicule, de la fabrication à la maintenance.

**ADP :** je reviens sur Clearmatics. Dans les blockchains habituelles que nous connaissons pour les cryptomonnaies, certaines transactions peuvent disparaître, ce qui est un problème, en plus du temps parfois long pour quelles soient enregistrées. Notre apport dans ce cas, c'est la fiabilité, grâce au consensus immédiat, le tout sans autorité centrale puisqu'on parle de transactions de pair-à-pair.

**ÁGP :** j'ai en tête le projet Carnot Fantastyc où l'on met en oeuvre des systèmes d'apprentissage fédéré. On y combine l'intelligence artificielle, les méthodes formelles, la théorie des jeux, l'apprentissage automatique, les systèmes distribués et bien sûr la blockchain. Dans nos travaux, ce qui fait une vraie différence, c'est la combinaison de connaissances qui ont toutes un lien dans l'univers de la confiance décentralisée. Par ailleurs, les blockchains étant très énergivores, nous travaillons sur la réduction de leur consommation énergétique, car l'impact écologique est une donnée essentielle. A ce propos, le CEA-List a lancé en début d'année le projet *moonshot* « Blockchain verte », pour pouvoir collecter, traiter et visualiser un grand nombre de données en évitant les coûts énergétiques associés. Leur cas d'étude : les données climatiques comme les concentrations de gaz à effet de serre.



© DR

# LA CONFIANCE NUMÉRIQUE

## LE COMPILATEUR COGITO

### APPLICATION OPTIMISÉE D'UNE CONTRE-MESURE DE MASQUAGE À LA COMPILATION POUR PARER LES ATTAQUES PAR CANAL AUXILIAIRE

En mesurant les émissions électromagnétiques d'un circuit, ou d'autres grandeurs physiques, un attaquant peut retrouver des informations sur les données et instructions manipulées au cours de l'exécution d'un programme. C'est le principe des attaques par canal auxiliaire. Ces attaques sont reconnues notamment pour leur efficacité remarquable à trouver les clés de chiffrement. Alors que les objets connectés représentent une opportunité dans de nombreux domaines, comme dans l'agriculture pour monitorer les teneurs chimiques dans les sols et dans l'air tel que le projet européen SARMENTI le propose, la sécurisation de ces objets contre les attaques par canal auxiliaire est essentielle.

Bien que de nombreuses contre-mesures existent, leur application est parfois compliquée à effectuer manuellement, et peut entraîner des coûts importants en termes de performance. C'est notamment le cas pour la contremesure de masquage, qui a cependant des atouts en terme de sécurité.

Le CEA développe depuis 2013 un compilateur appelé COGITO. Celui-ci permet d'appliquer automatiquement des contre-mesures pour accroître la sécurité des applications contre les attaques physiques. COGITO automatise désormais l'application du masquage booléen dans une passe appelée Maskara, avec plusieurs optimisations permettant d'obtenir de meilleures performances.

## EUROPEAN PROCESSOR INITIATIVE (EPI), LE PROCESSEUR HAUTE PERFORMANCE EUROPÉEN

Pour ses supercalculateurs, l'Europe dépend encore largement des fournisseurs de processeurs d'envergure mondiale, notamment américains. L'initiative EPI lancée par la Commission européenne répond à ce besoin d'indépendance stratégique, en réunissant 27 partenaires, dont le CEA-List et plus particulièrement l'institut Leti. Plusieurs objectifs sont visés : le développement du processeur européen de calcul haute performance (HPC) qui équipera les machines exascales EuroHPC, mais aussi la création d'une filière européenne de conception de processeurs HPC, dont la rentabilité passera par un rapprochement avec l'industrie automobile.

La première phase du projet EPI (SGA1) s'est terminée en 2021 avec des réalisations majeures faites par le consortium et auxquelles le CEA a contribué activement.

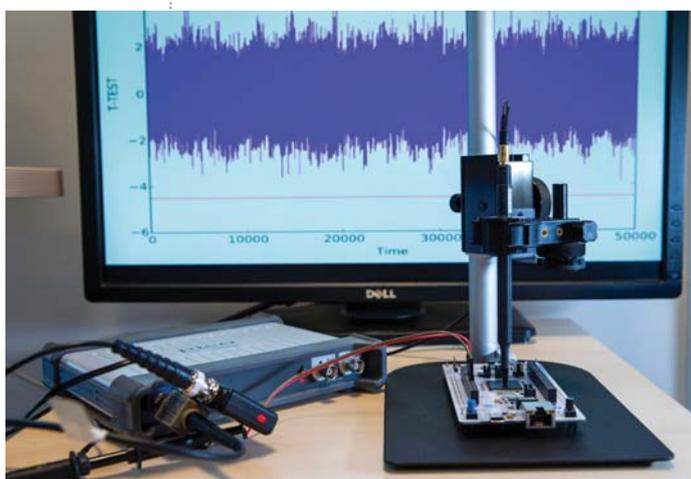
Le CEA a spécifié la plateforme commune de développement à partir d'une méthodologie de co-conception entre application et architecture. Pour cela, le CEA-List a mis à disposition de ses partenaires sa plateforme virtuelle SESAM/VPSim.

Concernant l'architecture d'une première génération du processeur européen, appelée Rhea, le CEA a contribué à plusieurs blocs fonctionnels (IP). Le CEA-List a ainsi évalué le contrôleur mémoire haut-débit (HBM) et les contrôleurs d'interconnexion puce-à-puce. Il a également conçu une tuile de traitement à précision variable (VRP) et réalisé son intégration dans un circuit de test ainsi que dans Rhea. Le CEA-Leti a, quant à lui, développé la gestion de l'énergie intégrée sur puce (Voltage Selector).

Appliquées au domaine de l'automobile, les technologies issues de l'EPI offrent une approche innovante de co-simulation multi-circuits via des interfaces pour la chaîne logicielle et les superviseurs. Dans ce contexte, et afin de garantir la sûreté de fonctionnement, le CEA-List a également contribué à l'analyse formelle de timing à partir de l'« Instruction Set Architecture » d'un processeur.

La première phase du projet EPI a permis de relancer la filière européenne de conception de processeurs avec la création en juin 2019 de la société **fabless SiPearl**. La deuxième phase du projet EPI permettra de pérenniser cette filière avec l'industrialisation par SiPearl de la première génération du processeur européen et le développement de la seconde.

Lien projet Sarmenti



© Cyrille Dupont



© Florence Pillot

# LA CONFIANCE NUMÉRIQUE

## BENCHMARKING EXPÉRIMENTAL D'UNE MACHINE QUANTIQUE ANALOGIQUE, UNE PREMIÈRE NATIONALE

### DONNER DES ARGUMENTS OBJECTIFS POUR ÉVALUER ET AIDER À CHOISIR UNE MACHINE QUANTIQUE

Il serait réducteur de limiter l'approche du calcul quantique au seul ordinateur à portes quantiques. Un autre type d'approche est celle proposée par la société canadienne Dwave avec un accélérateur pour la résolution de problèmes d'optimisation.

La technique utilisée dans ce cas est en théorie capable d'opérer une transition au cours du temps d'un état d'énergie minimal d'une configuration quantique simple vers une seconde configuration quantique complexe dont l'énergie minimum correspond à la solution du problème considéré, en utilisant des processus quantiques (évolution adiabatique du hamiltonien), à la condition que cette transition soit « *suffisamment* » lente.

Les chercheurs du List ont étudié certains problèmes d'optimisation relativement simples, mais difficiles à résoudre pour des heuristiques classiques telles que le recuit simulé. La connectivité de la machine DWave 2X permet d'effectuer seulement 5 % des connexions nécessaires pour instancier un problème général. Cette limitation nécessite une procédure d'adaptation des problèmes qui les rendent plus difficiles à résoudre. Cela constitue une limite quant aux capacités d'optimisation des ordinateurs quantiques de type Dwave.

#### Nous avons mis en évidence :

Des problèmes de rentabilité de qubits en raison du manque de connectivité (100 variables nécessitent environ 1000 qubits du fait que l'on doit dupliquer certaines variables pour pallier cette lacune).

Une rapidité effective de la machine pour obtenir des solutions (quelques dizaines de microsecondes par résultat), mais de qualité décevante par rapport à la difficulté du problème d'optimisation considéré.

La densité de la topologie de connexion est donc trop faible, ce qui conduit à penser que celle-ci est en définitive plus importante que le fait d'avoir un nombre de qubits plus élevé.

Les prochaines générations de ces machines (en particulier les machines Dwave Advantage sorties fin 2021) devraient sensiblement améliorer les résultats d'optimisation. Dans cette perspective, le partenariat avec le Jülich Supercomputing Center (JSC) dans le cadre du projet AIDAS devrait nous mettre sur la voie d'un écosystème international autour de cette expertise.

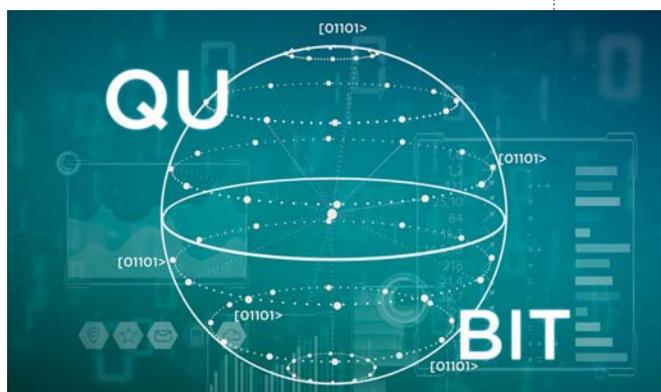


© sakkmeisterke phonlamaiphoto AdobeStock

## DES AVANCÉES EN VÉRIFICATION DE PROGRAMMES QUANTIQUES

Les ordinateurs quantiques démultiplieront de façon exponentielle les capacités de calcul. Il faut se préparer dès maintenant à vérifier que les programmes que l'on y implémentera rempliront correctement leurs fonctions. Si des méthodes existent pour tester les programmes classiques, elles ne sont pas directement applicables sur de tels ordinateurs, à la fois trop coûteuses ou impossibles à mettre en œuvre. Les chercheurs du CEA-List ont adapté les méthodes formelles de vérification des programmes classiques afin de les rendre compatibles avec la vérification de code quantique, donnant ainsi naissance à QBrick. Pour valider cette avancée, ils l'ont appliquée à un cas complexe : l'algorithme quantique d'estimation de phase, l'élément essentiel de l'algorithme de Shor, lequel permet de casser les clés utilisées pour les transactions bancaires.

Par ailleurs, le CEA-List a lancé le programme QStack sur l'étude de la pile logicielle et architecturale, c'est-à-dire l'ensemble des couches liant les algorithmes au matériel, qui autorisera la programmation et l'exécution d'applications réalistes sur le futur ordinateur quantique.



© Perig@AdobeStock



# L'INDUSTRIE DU FUTUR

## UNE RÉVOLUTION NUMÉRIQUE DANS LES ENVIRONNEMENTS INDUSTRIELS

### LA QUATRIÈME RÉVOLUTION INDUSTRIELLE

Aujourd'hui, la numérisation et la robotisation massive des processus constituent une mutation majeure pour les entreprises. La sophistication croissante des automatisations, le « dialogue » permanent qui s'établit entre les machines, avec les opérateurs ou encore avec l'extérieur, les environnements virtuels augmentés, l'apprentissage robotique, la possibilité d'un contrôle continu en temps réel, nourrissent des flux de données considérables. Il s'agit d'un véritable écosystème qui exige des composants logiciels appropriés et configurables. Bénéficiant de l'apport de l'intelligence artificielle, afin de rendre les systèmes de production plus autonomes et plus agiles, ces outils doivent également répondre aux enjeux de sécurité, de cybersécurité et de durabilité. **« Ces briques technologiques doivent fonctionner ensemble et il faut donc concevoir des architectures logicielles solides »**, note **Matteo Morelli**, ingénieur-chercheur en robotique intelligente, **« simplement pour donner aux humains la possibilité de rentrer dans le cycle de travail des robots en toute sécurité »**.

### L'ENJEU ENVIRONNEMENTAL

Cette révolution industrielle ne peut se faire sans prendre en compte des exigences de frugalité, notamment énergétique, et d'économie de ressources qui sont au cœur des recherches menées par le CEA-List. La course est aujourd'hui lancée pour des usines plus respectueuses de l'environnement, au bilan carbone à la baisse et suivi en détail, tâche par tâche. Citons en particulier les technologies de fabrication additive, moins consommatrices de matière, et dont le contrôle in process permet d'optimiser encore les ressources et le cycle de vie.

### VERS DES RUPTURES TECHNOLOGIQUES

Parmi les recherches que nous menons, le robot auto-apprenant et le jumeau numérique ouvrent des promesses d'efficacité considérables au sein de l'industrie. Le premier, doté de capacités d'apprentissage en langage naturel, est en mesure de recevoir des explications sur les tâches à accomplir, de comprendre la situation qui se présente à lui ou de faire appel à d'autres robots pour venir l'aider. **« On a besoin de nouvelles gammes de robots, plus flexibles, plus agiles, plus rapides. Cela nous permet de lancer des recherches dans de nombreuses directions, améliorer la mécatronique, la performance des communications, développer des systèmes de perception avancés et l'intelligence dans la prise de décision »** souligne **Matteo Morelli**.

Le second, véritable double numérique d'un processus, d'un objet ou d'un système permet de simuler des configurations d'usage et d'environnement pour optimiser des conditions d'exploitation, anticiper la maintenance, etc. **Saâdia Dhouib**, cheffe de projets dans le domaine de l'usine du futur, précise : **« Le jumeau numérique s'applique par exemple aux différents composants de l'usine, il permet de monitorer la production, en vue de remonter des données qui permettront de calculer et de réduire la dépense énergétique, entre autres »**.

### DES ÉCOSYSTÈMES QUI STIMULENT NOS RECHERCHES

En tant qu'institut de recherche technologique, le CEA-List mène ses activités dans le cadre de partenariats industriels et de projets collaboratifs, dont un grand nombre ont une dimension européenne grâce au programme H2020, Horizon Europe et Digital Europe, très orientés vers les entreprises. Ces appels à projets, qui associent recherche et développement industriel permettent de faire progresser la science tout en répondant aux enjeux économiques et sociétaux. **« C'est une source de motivation énorme pour nos chercheurs de voir les technologies développées dans nos laboratoires, adoptées par des industriels »** selon **Saâdia Dhouib**. **Ariane Piel**, cheffe de projet en modélisation, simulation, et optimisation de systèmes complexes au CEA-List, ajoute comme une évidence que **« le transfert industriel, c'est la mission du List »**.

# L'INDUSTRIE DU FUTUR



© Zinetron@Adobestock

## LE JUMEAU NUMÉRIQUE

### REND L'USINE PLUS AGILE

Dans l'industrie 4.0, agilité, personnalisation des produits, grandes ou petites séries, adaptation à la demande appellent des méthodologies génériques et des outils informatiques nouveaux tels le jumeau numérique (qui utilise

les derniers standards de l'industrie) ainsi qu'une plus grande connectivité.

Les chercheurs du CEA-List répondent aux enjeux de flexibilité en s'appuyant sur leur plateforme Papyrus, un environnement unique d'ingénierie dirigée par les modèles. Ils l'utilisent ici pour modéliser et simuler les différents aspects d'un système de production, en considérant différents points de vue.

Papyrus4Manufacturing propose un outil de conception et de déploiement des interfaces numériques dans l'usine, basé sur le standard AAS, qui permet l'échange d'informations et l'interopérabilité des divers composants, en conformité avec les protocoles de communication « Industrie 4.0 ».

Cet outil est utilisé dans le projet européen DIMOFAC, qui regroupe 30 partenaires et 6 lignes pilotes. Grâce à ce projet, les industriels pourront créer leur propre jumeau numérique afin de rendre parfaitement modulaires (« plug&produce ») les différents moyens de production, matériels et numériques, et simuler les stratégies de reconfiguration avant déploiement sur le terrain. De plus, ces jumeaux numériques les aident à effectuer une mise en service virtuelle (« Virtual Commissioning ») pour éviter le gaspillage de ressources.

Objectif final : réduire de plus de 20 % le temps de reconfiguration et de 15 % le coût global de production, contribuant ainsi à la compétitivité de l'industrie européenne.

Lien Papyrus4Manufacturing



Lien projet dimofac



© Philippe Stroppa

## SOUND :

### LE FILTRAGE INVERSE SPATIO-TEMPOREL POUR TRANSFORMER DES SURFACES EN HAUT-PARLEURS

Le système Sound permet de transformer n'importe quel type de surface en haut-parleur : cloison, verre, aluminium, bois ou encore fibre de carbone, de nombreux matériaux sont envisageables.

La technique de filtrage inverse spatio-temporel permet de concevoir des surfaces émettrices de son. Celles-ci sont mises en vibration par des actionneurs piézoélectriques ou des excitateurs électrodynamiques. Il est même possible d'y créer plusieurs zones sonores grâce au contrôle fin et à la localisation précise de la vibration du support. Les chercheurs travaillent actuellement sur la limitation des distorsions harmoniques et l'amélioration de la restitution sonore, afin de finaliser leur concept.

La technologie est très prometteuse : la fonctionnalisation directe des surfaces génère des gains de poids (entre 50 % et 90 %) et de volume (entre 80 % et 95 %) spectaculaires si on les compare à l'adjonction de haut-parleurs traditionnels. Ce qui intéresse les constructeurs automobiles, mais aussi les secteurs de la domotique et de l'hôtellerie par exemple. Un démonstrateur est déjà visible dans le showroom du CEA-List pour susciter l'intérêt des industriels.

Lien article Les Échos



Lien article Université Paris-Saclay



© Light&Shadows

## OCTOPCL L'INTERACTION EN RÉALITÉ ÉTENDUE AVEC DES NUAGES DE POINTS

OCTOPCL, la dernière brique technologique du CEA-List en simulation interactive, facilite la visualisation et le traitement de nuages de points massifs.

Les industriels exploitent de manière croissante les scanners 3D pour capturer leurs objets, équipements, ou sites réels, comme alternative ou en complément, à la modélisation CAO. La visualisation de données issues de scanners laser et l'interaction avec des maquettes 3D ou des jumeaux numériques ouvre la porte à de nombreux usages, comme les visites virtuelles et collaboratives de chantiers ou la détection de non-conformités et leur résolution rapide.

Les atouts d'OCTOPCL sont aujourd'hui mis au service du plug-in Stipple de la startup Light&Shadows, ainsi que de l'outil CETO® de la société Technip Energies, permettant :

- Un rendu inégalé du nuage de points 3D massif (supérieur à 1 milliard).
- La comparaison entre modèle CAO et nuage de points.
- L'interaction avec le nuage de points (déplacements de l'utilisateur, interférences avec un maillage ou modèle, 3D).
- La génération automatique de nuages de points synthétiques.
- La simulation d'acquisition de nuage de points par Lidar et caméra de profondeur.
- La collaboration à distance autour des résultats.

Prochaine étape pour les équipes du CEA-List : travailler à son idéalisation et à sa segmentation, grâce à des technologies d'intelligence artificielle.

## LA PRÉHENSION, CAPACITÉ CLÉ EN ROBOTIQUE

En lien avec nos partenaires privés et publics, nous menons des recherches en vue d'améliorer la polyvalence des robots industriels, leur capacité d'adaptation et leur faculté à saisir des objets variés dans un environnement en constante évolution. Gain d'efficacité, protection des opérateurs et facilitation des tâches sont au cœur de ces développements.

La planification basée sur l'IA permet de résoudre efficacement l'exploration de l'espace des prises stables à l'aide de préhenseurs multidigitaux, sous-actionnés (moins d'actionneurs que de degrés de liberté) et adaptatifs pour générer à la volée la saisie d'objets et viser la polyvalence des robots. Avec, à la clé de cette approche innovante, un dépôt de brevet et deux publications internationales.

**L'évaluation de cette méthode montre un taux de réussite de 99,54 % sur 7 000 essais simulés, ainsi que des résultats expérimentaux très démonstratifs.**



Selma Kchir



Matteo Morelli



Mehdi Darouich

## ROBOT COMPAGNON : UN PROJET PLURIDISCIPLINAIRE POUR L'USINE DE DEMAIN

**Selma Kchir**, cheffe de ce projet, **Matteo Morelli** et **Mehdi Darouich**, tous trois ingénieurs-chercheurs au CEA-List, apportent leur éclairage sur le robot compagnon, appelé à transformer l'industrie en profondeur.

Si l'interdisciplinarité marque fortement notre institut, la collaboration croise ici de nombreuses compétences en robotique de façon emblématique : IA pour la vision et le langage, jumeau numérique et communications, ingénierie logicielle dirigée par les modèles dans le cadre des systèmes autonomes, conception d'architectures de calcul embarquées pour la perception dans les systèmes autonomes et intelligence artificielle embarquée.

### DANS UNE INDUSTRIE DÉJÀ TRÈS ROBOTISÉE, POURQUOI DÉVELOPPER LE ROBOT COMPAGNON ?

**Selma Kchir** : on est effectivement largement robotisé dans certaines industries, on parle actuellement d'industrie 4.0 qui est centrée sur la production de masse et sur l'internet des objets : les robots sont considérés comme des agents connectés, mais leurs données ne sont pas assez exploitées, faute d'une IA suffisamment intégrée. Il s'agit de passer à l'étape suivante, l'industrie 5.0, où l'on s'intéresse à un nouveau paradigme dans lequel les robots doivent faire face à un besoin grandissant de flexibilité et s'adapter rapidement aux besoins de production de petites et moyennes séries. Il faut aussi faciliter la fabrication de nouveaux produits et la gestion des modes dégradés, surtout en temps de crise, ce qui constitue un enjeu clé pour les grands groupes manufacturiers, mais aussi pour les PME.

### QUELLE ÉTAPE ESSENTIELLE BALISE LE CHEMIN DE RECHERCHE SUR LE ROBOT COMPAGNON ?

**SK** : d'abord faire progresser différentes technologies et les faire fonctionner ensemble : la mécanique du robot, les systèmes de vision et de perception, l'intelligence artificielle, les communications... Pour ça, on passe par la définition d'architectures modulaires et d'interfaces génériques. De plus, on a besoin de simuler pour anticiper le déroulement des tâches et de visualiser les changements dans l'environnement, à travers la définition du jumeau numérique du robot et de la tâche à accomplir. Le jumeau permet de générer des trajectoires sans collision, simuler des positions de prise d'objets, améliorer la préhension elle-même, la vision, la possibilité d'évoluer parmi les humains. Au CEA, nous sommes l'un des rares organismes dans le monde à avoir à la fois la base technologique et la compétence d'intégration de toutes ces technologies.

**Matteo Morelli** : je dirais l'intégration de diverses briques technologiques. Sur les interfaces des modules, il faut définir des couches « d'abstraction » et pour y parvenir, on utilise des langages de modélisation formels, c'est-à-dire avec une sémantique bien définie. Avec ces couches d'abstraction, on peut définir la façon d'échanger des informations entre modules et comment leurs opérations (leurs calculs) sont enchaînées pour réaliser une tâche. Il y a aussi la conception des interfaces homme-machine pour faciliter la communication entre les opérateurs et les robots. C'est finalement un travail d'orchestration.

### Mehdi Darouich :

la maîtrise de l'empreinte matérielle du robot compagnon est une étape importante. L'intégration d'architectures de calcul embarqué et le partitionnement sur un ensemble de ressources de calcul adapté permettent d'envisager une solution flexible et efficace en énergie. L'intégration de certaines fonctions critiques sur des calculateurs embarqués au plus près des capteurs ou actionneurs permet d'imaginer une réactivité décuplée et de ce fait l'accès à de nouvelles missions en collaboration avec les humains.



© DR

### CES RECHERCHES ONT-ELLES UNE PORTÉE PARTICULIÈRE ?

**SK** : dorénavant c'est le système qui doit s'adapter à l'humain et non plus l'inverse. C'est-à-dire que le robot préserve l'expertise humaine requise pour réaliser les ambitions de l'industrie 5.0. Il s'aligne sur les besoins de l'opérateur et « l'augmente » dans l'usine, en l'assistant dans les tâches pénibles. Il n'y aura pas besoin de maîtriser les langages de programmation pour programmer ou reconfigurer le robot. C'est la fin des barrières liées à la formation, à l'âge ou au genre. Ces développements facilitent l'adaptation des moyens robotiques à de nombreux cas de figure et pourront ainsi contribuer à l'économie circulaire et à la relocalisation de la production en Europe. Le robot compagnon est une première réponse à cette ambition.

**MM** : oui, je le pense. Ces recherches auront un impact important sur la vie de tout le monde. Avec le robot compagnon, je crois que les conditions de travail dans l'industrie vont en bénéficier, avec plus de sécurité. Et les opérateurs au sein des ateliers n'auront plus à se concentrer sur des tâches répétitives, il y aura une meilleure valeur ajoutée du travail. C'est intéressant d'appliquer des méthodes avancées d'informatique à ces thématiques. Ce projet nous permet de développer la robotique intelligente. C'est un premier pas vers les solutions qui seront mises en œuvre dans le cadre de notre nouveau projet de robot auto-apprenant.

**MD** : Les recherches que nous menons permettent d'envisager un modèle de production flexible, à la réactivité augmentée, en lien fort avec les humains tout en restant frugal en énergie et en ressources.

# L'INDUSTRIE DU FUTUR

## DÉPLOIEMENT

### DES AIDES À LA GESTION DES EXIGENCES POUR LES CONCEPTEURS DE SYSTÈMES INDUSTRIELS

Dans l'industrie, les règles d'exploitations, édictées en langage naturel et structurées en documentation textuelle, guident les opérateurs dans les tâches quotidiennes dévolues à la bonne marche des installations.

La conception des systèmes logiciels de contrôle-commande dépend de la formalisation des règles d'exploitation et de la prise en compte des exigences à valider (conditions de fonctionnement, températures, inviolabilité des règles, ambiguïté de certaines instructions, etc.). Jusqu'ici, ce long travail de préparation était fait « à la main ». Le CEA-List a développé des outils capables d'automatiser ces tâches et de gagner en efficacité de gestion des processus industriels.

Deux cas d'usage ont permis aux chercheurs de valider leurs outils. Pour EDF, la simplification du travail des pilotes d'installations nucléaires contribue à la sécurité des installations. Le développement de la maquette STE2ARTIMon du CEA-List formalise automatiquement les Spécifications Techniques d'Exploitation (STE) en langage naturel, tout en levant certaines ambiguïtés de rédaction des règles, et clarifie leur rédaction.

Pour RTE, il s'agit de piloter en temps réel le stockage et la distribution d'énergies renouvelables et intermittentes en évitant les interruptions de service, les surcharges du réseau ou les pertes d'exploitation. Dans le cadre du projet européen CPS4EU, le CEA-List définit une grammaire dédiée pour l'expression des exigences fonctionnelles et propose des techniques d'analyse formelle pour les améliorer et étudier leur lien de causalité. Cette méthode et ces résultats font l'objet d'une implémentation dans l'outil MAAT de formalisation des exigences, ainsi que d'une publication conjointe CEA-RTE à la conférence internationale SEKE 2021.

Le CEA-List a également fourni à l'IRSN une solution complète allant automatiquement de la documentation textuelle structurée et du code source jusqu'au rapport de validation des logiciels. Cette chaîne logicielle intégrée a permis d'injecter dans un premier code 273 exigences provenant de la documentation – une opération qui aurait pris plusieurs heures auparavant – et qui est dorénavant quasi-instantanée. Par ailleurs, la propagation d'erreurs numériques au cœur de la chaîne logicielle peut ensuite mettre en évidence d'éventuelles anomalies, dont des divergences de calculs dans les codes embarqués des centrales nucléaires.

## FABRICATION ADDITIVE :

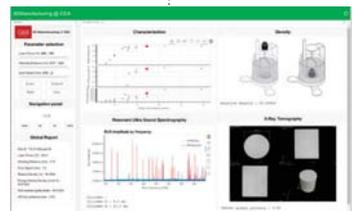
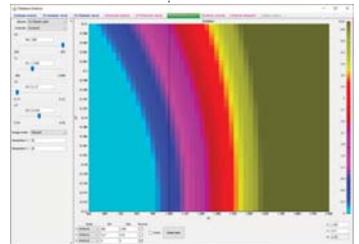
### PREMIÈRES CORRÉLATIONS ENTRE PARAMÈTRES DES PROCÉDÉS ET SANTÉ MATIÈRE

Les instituts List et Liten du CEA mettent en commun leurs expertises en systèmes numériques et nanomatériaux pour consolider les bases de connaissances sur la fabrication additive de pièces par le procédé de fusion sur lit de poudre (L-PBF). Le List y apporte notamment ses méthodes de caractérisation non destructive.

Des échantillons en L-PBF ont été fabriqués puis analysés selon diverses méthodes : mesure de densité par Archimède, mesure des modes propres de vibration par spectroscopie à ultrasons résonante (RUS) et caractérisation fine par tomographie X (résolution 20 µm). Les résultats montrent nettement la corrélation entre les paramètres de fabrication et les qualités de matériaux obtenus. Ils mettent également en évidence le lien entre la qualité des spectres RUS et les mesures de porosité, ouvrant la voie à des caractérisations rapides d'échantillons.

Nos travaux se poursuivent, notamment via la fabrication de pièces comportant des défauts afin de quantifier leurs signatures respectives.

L'ensemble des résultats de mesures alimmente la base de données **3DManufacturing@CEA** qui agrège les connaissances en fabrication additive capitalisées par le CEA. Cette base de données est également intégrée à la chaîne numérique dédiée à la fabrication additive, accessible sous forme de plug-in dans la plateforme de simulation et d'analyse CIVA.



© DR

## INSTRUMENTATION ET MONITORING IN-SITU

### EN FABRICATION ADDITIVE

Le développement de techniques de monitoring in situ pour les machines « lit de poudre » a donné lieu à une collaboration renforcée entre les instituts List, spécialisé dans les systèmes numériques intelligents, et Liten, expert en nanomatériaux. Deux moyens de mesure issus des recherches du List ont été mis en œuvre : les courants de Foucault (CF) et les ondes ultrasonores (US), grâce à un capteur électromagnétique à courants de Foucault ainsi qu'un capteur ultrasons dans la machine Fusion Laser Lit de Poudre Farsoon du Liten.

La sensibilité de la technique CF à la détection de défauts qui apparaissent en cours de fabrication dans une pièce en aluminium a été étudiée. Pour le capteur utilisé, des limites de détection ont été mises en évidence, en fonction de l'ouverture et de la hauteur des entailles de référence artificiellement créées lors de la fabrication. D'autre part, les mesures US ont montré qu'il était possible de monitorer l'avancement de la fabrication couche par couche. Enfin, une rupture de continuité franche liée à de mauvais paramètres de fabrication a également pu être détectée.

Les mesures obtenues grâce à cette approche multidisciplinaire seront utilisées pour le développement de modèles numériques, l'analyse de données et la mise au point d'un protocole de monitoring de la fabrication, en vue d'un transfert technologique vers les industriels du secteur.

Lien Framac



# L'INDUSTRIE DU FUTUR



© Cyrille Dupont

## CONTRÔLE NON DESTRUCTIF AUGMENTÉ,

### ASSISTER L'OPÉRATEUR AVEC DES OUTILS NUMÉRIQUES

Comment augmenter la qualité des contrôles non destructifs (CND) réalisés manuellement et assurer leur traçabilité ? Dans les domaines de l'énergie nucléaire, de l'Oil & Gas, de l'aéronautique, etc., ces tâches complexes se heurtent à plusieurs obstacles : la pénurie d'opérateurs expérimentés, des procédures complexes et le manque de capitalisation sur le retour d'expérience.

Les chercheurs du CEA-List répondent à ces enjeux par la conception et le développement d'un nouveau système matériel et logiciel qui accompagne et augmente l'expertise de l'opérateur lors des contrôles. La technologie proposée intègre une suite logicielle haute performance, de qualité industrielle, associant **motion tracking**, réalité augmentée et **deep learning**. Le dispositif développé permet de synchroniser, traiter et enregistrer les données issues des différents modes d'acquisition. Les données de localisation en 3D et leur filtrage en fonction de la procédure visée sont ensuite visualisés en réalité augmentée grâce à une application d'affichage tierce.

## SURVEILLANCE DE L'ÉTAT DE SANTÉ

### D'UN RÉSEAU DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN BASSE TENSION PAR TRANSFÉROMÉTRIE

L'optimisation énergétique des bâtiments et plus généralement la connaissance fine de la distribution électrique et de l'état de santé d'un réseau contribuent aussi bien à la continuité de service qu'à la sécurité des biens et des personnes et à la maîtrise de la consommation.

Or, la question de la connaissance des réseaux existants au sein d'installations industrielles est souvent posée, les informations disponibles manquent parfois de précision. Une campagne de mesures effectuée par le CEA-List sur des installations industrielles a rendu possibles la détection et la localisation de défauts non francs sur ces réseaux (défaut d'isolement, échauffement, courbure excessive, etc.). L'étude a donné lieu à la mise au point d'un module d'isolement capable de mesures par réflectométrie/transférométrie sur un réseau basse tension sous tension, offrant la possibilité de surveiller totalement ou partiellement le réseau.

## LE DIAGNOSTIC NON DESTRUCTIF DE CÂBLES AÉRIENS POUR RTE

Le gestionnaire du réseau de transport d'électricité RTE cherche à évaluer l'endommagement dans les couches internes et externes des conducteurs aériens pour optimiser leur maintenance, disposer de méthodes de contrôle éprouvées, complémentaires et qualifier les prestataires. Le défi principal réside dans la structure complexe des câbles, de géométrie hélicoïdale et multi-matériaux.

En s'appuyant sur leur expertise en contrôle non destructif, les ingénieurs-chercheurs du CEA-List ont retenu les méthodes électromagnétiques et les ondes guidées ultrasonores.

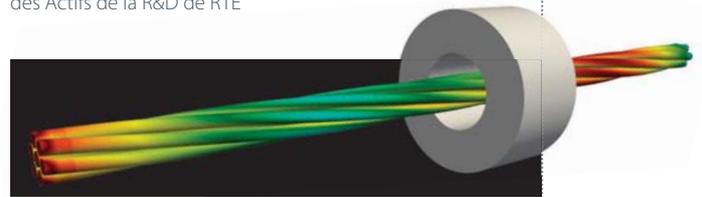
- Une application métier a été développée dans CIVA pour le contrôle de câbles aériens par méthodes électromagnétiques afin d'étudier la sensibilité aux paramètres influents et évaluer les limites de détectabilité.

- Des essais en ondes ultrasonores guidées interagissant avec les défauts dans les couches internes et externes du câble ont été menés avec succès sur banc de traction. De nouveaux outils de simulation multibrins et géométrie hélicoïdale améliorent la compréhension des phénomènes au cœur de l'acier et l'interprétation des échos.

L'étude sera poursuivie en 2022. Pour les méthodes électromagnétiques, il s'agira de finaliser l'évaluation des outils des prestataires. Pour les ondes ultrasonores, les capacités de détection et de quantification seront explorées.

« Les études réalisées avec le CEA-List nous confortent sur le choix des méthodes de contrôle non destructif. Les simulations, complémentaires avec notre banc d'essais à Campus Transfo (Jonage), ont une forte valeur ajoutée pour l'évaluation de la qualité et sélectivité des contrôles. »

**Serge Blumental**, Directeur du Programme Gestion des Actifs de la R&D de RTE



© DR

## FOCUS



© DR

## GWENAËL TOULLELAN

Arrivé au CEA-List en 2004, il intègre le laboratoire Instrumentation et capteurs qui opère la plateforme de contrôle non destructif et dont il contribue à concevoir l'équipement.

Son parcours académique a commencé en Bretagne, sa région d'origine, où il obtient une maîtrise en physique appliquée avant de rejoindre l'Université Grenoble-Alpes pour le DESS technique et application de la physique, spécialisé dans les ultrasons.

Aujourd'hui chef de projet en contrôle non destructif (CND) robotisé par méthode ultrasonore, il anime un projet pour adapter des matériels médicaux spécifiques présentant un potentiel exploitable pour le contrôle des pièces métalliques.

« Notre cœur de métier est de développer des méthodes qui n'existent pas sur étagère pour des environnements sous fortes contraintes comme le nucléaire afin de réaliser des contrôles de tuyauteries par exemple », note-t-il.

Il précise encore « qu'il s'agit aussi de combiner des briques technologiques existantes au List comme le CND et la robotique pour obtenir une offre à très haute valeur ajoutée », dans le cadre du projet européen EIT Manufacturing FLEXNDT (FLEXible adaptive and efficient NDT process for manufacturing industry), avec notamment la startup Isybot qui commercialise des robots collaboratifs (cobots).

Gwenaël Toullelan ne s'intéresse pas aux ultrasons par hasard. Musicien passionné d'acoustique et d'ingénierie du son, il a toujours voulu en explorer les possibilités. Le List lui offre à ce titre un terrain idéal avec « des projets toujours nouveaux ». Sa prochaine mission : responsable opérationnel de SPRING, la plateforme robotisée du CEA-List pour le CND en collaboration avec Safran.

# L'INDUSTRIE DU FUTUR



© Cyrille Dupont

## LANCEMENT DE LA PLATEFORME SACHEMS

Le contrôle non destructif est au cœur des stratégies de maintenance des structures industrielles dans de nombreux domaines (aéronautique, ferroviaire, nucléaire par exemple). Il est souvent exécuté par des opérateurs ou des robots, à fréquence régulière, à l'aide de matériels acheminés sur place pour procéder à la détection de défauts (fissure, corrosion, etc.). Une approche récente dont l'acronyme est SHM pour *Structural Health Monitoring*, consiste à utiliser un ensemble de moyens (capteurs, électroniques embarquées et algorithmes associés) disposés à demeure sur la structure afin d'effectuer un contrôle en continu et mieux garantir la sécurité tout en maximisant la disponibilité opérationnelle de la structure.

Pilotée par le CEA-List, SACHEMS est une nouvelle plateforme fédérative de recherche et d'innovation pour le SHM. Elle regroupe à la fois des équipes académiques et industrielles et s'inscrit dans la dynamique de création d'une filière à vocation internationale.

Les développements menés au sein de la plateforme offriront des possibilités de conception, de déploiement et de test de systèmes SHM complets sur des pièces complexes représentatives de la réalité, en vue de valider des briques technologiques.

Innovation technologique, partage de connaissances, collaborations et rencontres, SACHEMS se veut le creuset des recherches et des applications autour du SHM. Si son inauguration a été différée en raison de la situation sanitaire, la plateforme SACHEMS est aujourd'hui opérationnelle.

## ENTRETIEN



Guillaume Laffont



Bastien Chapuis

## L'APPORT DE LA FIBRE OPTIQUE EN SHM

**Guillaume Laffont** et **Bastien Chapuis**, ingénieurs-chercheurs au CEA-List, respectivement chef du laboratoire Capteur Fibre Optique et spécialiste en SHM au laboratoire Instrumentation et Capteurs mettent en relief les avancées en SHM (Structural Health Monitoring, en français, contrôle santé des structures) en 2021.

**Guillaume Laffont** : un type de capteur à fibre optique qu'on appelle le réseau de Bragg est capable de mesurer des paramètres physico-chimiques différents ; températures, déformations, pressions, etc. dans des milieux variés, parfois sévères, comme les hautes températures en aéronautique par exemple. Cet aspect multiparamétrique trouve une grande diversité d'applications, en particulier en SHM, où ce type de capteur optique rend possible un grand nombre de points de mesures de façon faiblement intrusive sur diverses structures. L'idée est de construire, à partir des mesures effectuées par les réseaux de Bragg, des outils de prédiction de durée de vie résiduelle et d'évolution d'endommagement en cours d'opération.

Interrogés à haute fréquence, les Bragg peuvent servir de récepteurs acoustiques des ondes ultrasonores ce qui permet de sonder le cœur des structures de manière non destructive. Cette technologie palie une limitation des capteurs piézoélectriques utilisés classiquement pour ces applications SHM. L'avantage réside également dans l'utilisation d'une seule fibre optique pour plusieurs points de mesure, ce qui permet de limiter l'intrusivité du système de monitoring, et présente aussi l'intérêt majeur de pouvoir se déployer dans les environnements difficiles (hautes températures ou milieu radioactif par exemple). L'utilisation des réseaux de Bragg comme récepteur acoustique est une piste originale que nous explorons avec les équipes de Bastien Chapuis.

**Bastien Chapuis** : le multiplexage que permet la technologie des Bragg comme récepteurs acoustique est un sujet très important, car il permet de découpler les points de mesure sur la structure pour offrir un diagnostic très fiable. Par ailleurs, nous sommes les premiers dans le monde à avoir couplé la méthode d'analyse dite « passive » et la mesure par réseau de Bragg. La méthode passive consiste à analyser les ondes ultrasonores émises par la structure en fonctionnement (un moteur d'avion par exemple) et de regarder comment les ondes se propagent au sein de la matière afin de détecter l'apparition de défauts structurels (fissure, corrosion etc.). Grâce à la collaboration avec Guillaume Laffont et ses équipes, nous avons pu démontrer que cette méthode passive d'exploitation du bruit ambiant est bien adaptée aux capteurs réseau de Bragg. Nous avons démontré les principes et les briques de base d'un système basé sur ce couplage méthode passive/ réseaux de Bragg en vue de l'adapter à des structures plus complexes. C'est une des grandes avancées de cette année issue de la collaboration fructueuse entre nos deux laboratoires.

L'étape suivante sera d'aller vers des solutions plus matures, notamment avec nos partenaires industriels, par exemple Safran sur des structures composites utilisées en aéronautique, mais aussi sur des problématiques liées au suivi de santé des canalisations nucléaires avec EDF. Mais bien entendu, il y a aussi un vrai foisonnement de collaborations académiques autour de cette thématique avec l'Université Gustave Eiffel et l'Université Polytechnique Hauts de France entre autres.

# L'INDUSTRIE DU FUTUR

## RÉALISATION DE SOURCES SURFACIQUES POUR LA CARACTÉRISATION DE DÉTECTEURS DÉDIÉS AU DÉMANTÈLEMENT

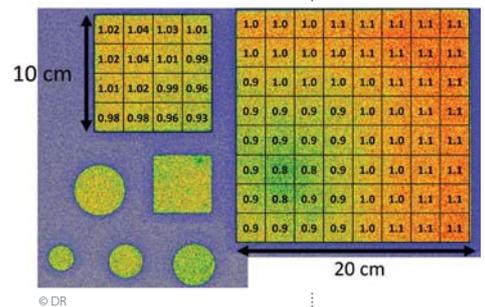
Le démantèlement de sites tels que les centrales nucléaires, les réacteurs ou les laboratoires est essentiel pour les exploitants. Le coût de la procédure est élevé en termes de temps et de ressources, sans occulter la nécessité de diriger les déchets vers la bonne filière de traitement.

Le CEA-List développe, évalue et étalonne de nouveaux détecteurs pour la caractérisation radiologique des surfaces. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer de sources radioactives de référence d'une grande variété, idéalement les plus proches possibles des surfaces contaminées du terrain.

L'approche du CEA-List consiste à encapsuler un radionucléide dans le réseau réticulé d'une résine époxy, pour obtenir des sources de taille variant du  $\text{cm}^2$  à plusieurs centaines de  $\text{cm}^2$ , de géométrie plane ou courbe et de surface lisse ou rugueuse. Ces sources métrologiques sont des étalons traçables au Système International d'unités (SI), uniformes à plus de 90 % et ne présentant pas de contamination labile de surface.

Facile à mettre en œuvre, la méthode permet d'incorporer un large éventail de radionucléides, même volatils, à condition qu'ils soient solubles en phase aqueuse.

Il est également possible d'obtenir des sources avec une grande variété de formes et de rugosité de surface, à l'aide de moules adaptés, ce qui les rend très intéressantes pour des utilisations sur le terrain, dans des conditions plus sévères qu'en laboratoire, puisqu'elles sont non-contaminantes.



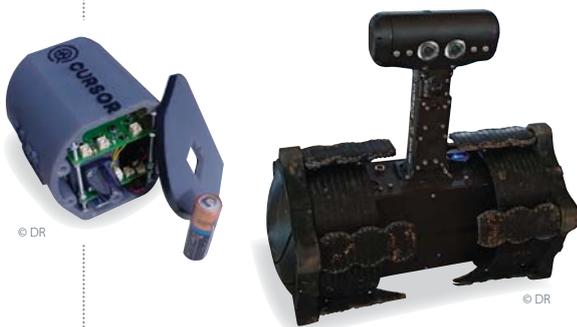
## DÉTECTION CHIMIQUE INTELLIGENTE

### POUR L'AIDE À LA RECHERCHE DES VICTIMES ENSEVELIES

Lors de catastrophes naturelles ou d'accidents en milieu urbain, la recherche de victimes exige efficacité et rapidité. Si les services de secours utilisent déjà des chiens spécialement dressés, il devient aujourd'hui possible de leur adjoindre des robots dotés de hautes capacités de détection et aptes à se faufiler dans les décombres.

Dans le contexte du projet européen CURSOR, le CEA-List signe une première mondiale avec un nez artificiel à base de biocapteurs embarqué sur un robot miniature. Équipé de capteurs de gaz commerciaux (le  $\text{CO}_2$  dans l'air expiré par exemple) et de capteurs de composés organiques volatils à base de protéines liant les odeurs pour la détection de présence humaine, le dispositif s'appuie sur une base de données de marqueurs chimiques révélateurs de la présence de victimes vivantes ou décédées.

Les tests du module de détection se dérouleront au cours de l'année 2022 pour évaluer ses performances et sa robustesse avant d'être industrialisé pour devenir, à terme, un outil précieux pour les unités de premiers secours.



## AQUASPEC :

### UN NOUVEAU DISPOSITIF DE MESURE POUR LA SPECTROMÉTRIE NEUTRONIQUE DE SOURCES RADIOACTIVES

Le CEA-List a développé un nouvel ensemble de mesure de flux d'émission neutronique, AQUASPEC, conçu pour la caractérisation de sources neutrons à base de radionucléides. Le dispositif est constitué d'un récipient en polyéthylène, équipé d'un canal central dans lequel la source est placée et de 12 canaux d'instrumentation pouvant accueillir des compteurs à  $^3\text{He}$  mais aussi des scintillateurs plastiques discriminant neutrons et gamma. Lors de la mesure, le récipient est rempli d'eau afin de modérer les neutrons. Les détecteurs fournissent ainsi des mesures à différentes distances de modération. Les comptages sont analysés par un algorithme de type ML-EM (*Maximum-Likelihood Expectation Maximization*) ou MAP-EM (*Maximum A Posteriori - Expectation Maximization*) intégrant un a priori de régularisation donnant des performances supérieures à celles du ML-EM classique.

Les mesures AQUASPEC permettent de passer d'un problème fortement sous-dimensionné à un jeu de données expérimentales suffisamment riche pour permettre la reconstruction du spectre des neutrons sans introduire d'a priori sur sa forme. Il s'agit là d'un avantage important par rapport aux spectromètres habituels (type sphères de Bonner). De plus les scintillateurs plastiques dopés au  $^6\text{Li}$  ( $\text{SP-}^6\text{Li}$ ) utilisés ont été développés spécialement pour séparer les composantes neutrons rapides et neutrons thermiques dans la même mesure.

En 2021, AQUASPEC a permis d'évaluer deux approches :

- traditionnelle : comptage des neutrons thermiques avec un compteur à  $^3\text{He}$  associé à différentes épaisseurs de modération des neutrons dans le poste de mesure (comparable aux spectromètres classiques) ;
- alternative : détection avec un  $\text{SP-}^6\text{Li}$  des neutrons rapides (information directe sur l'énergie des neutrons incidents via le spectre des protons de recul créés dans le SP) et des neutrons thermiques via la réaction  $(n, \alpha)$  sur le  $^6\text{Li}$ .

Le projet est soutenu par le LNE (Laboratoire National de métrologie et d'Essais), qui pilote le réseau national de la métrologie française.

## LES STARTUPS DU CEA-LIST

**28**  
STARTUPS  
CRÉÉES  
DEPUIS 2003



**400**  
EMPLOIS  
DIRECTS

ESSAIMÉES DE NOS RANGS EN EXPLOITANT LES TECHNOLOGIES DES LABORATOIRES DU LIST, ELLES ENTRETIENNENT TOUJOURS DES LIENS ÉTROITS AVEC NOTRE INSTITUT ET CONTRIBUENT À NOTRE RAYONNEMENT TECHNOLOGIQUE. DEPUIS 2003, 28 STARTUPS ONT ÉTÉ CRÉÉES, TOTALISANT 400 EMPLOIS POUR UN CHIFFRE D'AFFAIRES GLOBAL AVOISINANT 10 MILLIONS D'EUROS.

### SNOWPACK

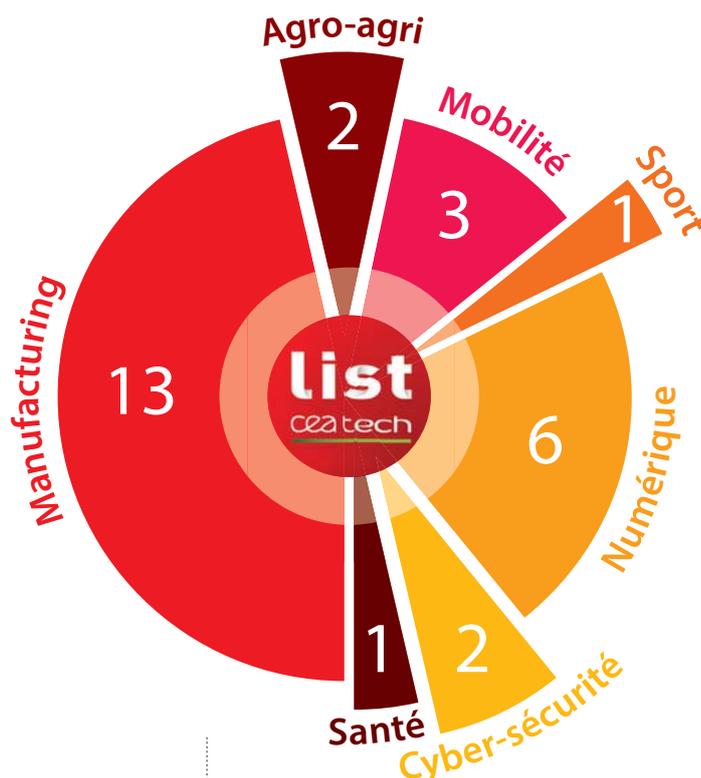
Créée en mai 2021, Snowpack déploie aujourd'hui en Europe une infrastructure logicielle au-dessus des réseaux de communication, destinée à protéger et rendre invisibles les données des utilisateurs.

Les paquets de données sont divisés en fragments complémentaires anonymisés (qui s'apparentent à du bruit) puis transmis par des chemins distincts. Un attaquant potentiel ne peut alors plus reconstruire correctement l'information originale, localiser l'utilisateur, ou l'identifier. En pratique, Snowpack offre une confidentialité très solide tout en préservant les enjeux d'éthique, car les utilisateurs du service (les opérateurs de télécommunication par exemple) peuvent toujours filtrer l'accès à des sites illégaux et bloquer les activités frauduleuses.

### ALKALEE

Alkalee propose, depuis sa création en 2020, des solutions destinées à faciliter le déploiement de fonctions logicielles sur des systèmes embarqués complexes. Sa suite d'outils évolutive accompagne l'essor de nouvelles fonctions logicielles embarquées liées aux véhicules connectés et autonomes. L'outil de modélisation et d'aide au déploiement Euphilia, basé sur un modèle mathématique solide (Polygraph), facilite la conception de nouvelles fonctions et garantit une intégration sûre. Pour assurer la bonne exécution des applications au sein du véhicule, Alkalee propose également l'environnement logiciel embarqué Receef. En support à ces deux outils logiciels, Alkalee commercialise un calculateur évolutif, Koreel, dont la puissance de calcul peut être adaptée par l'ajout de cartes « filles » dotées de processeurs généralistes ou d'accélérateurs spécialisés (FPGA, GPU, many-core, ...). Koreel permet de prototyper des systèmes embarqués complets dans un environnement représentatif et de vérifier leur performance globale. Les outils d'Alkalee trouvent leurs applications dans l'automobile et tous les domaines nécessitant des calculateurs performants et évolutifs, comme l'intelligence artificielle embarquée et les véhicules industriels.

### NOS STARTUPS PAR SECTEURS APPLICATIFS



### AIHERD

Association de AI et Herd pour intelligence artificielle appliquée aux troupeaux, la startup AIHerd créée en 2020 a développé une solution permettant l'analyse visuelle en temps réel des élevages laitiers bovins industriels. Via des caméras installées dans les étables, l'application permet de détecter les anomalies de comportement, de prévenir les maladies et ainsi d'améliorer le bien-être animal.

Incubée à la SATT Paris-Saclay, AIHerd déploie une solution basée sur des algorithmes d'intelligence artificielle, développée en partenariat avec notre institut. La société emploie déjà 5 salariés et vise un chiffre d'affaires de 7 millions d'euros en 2022.

# LES STARTUPS DU CEA-LIST

## QUELQUES STARTUPS EN POINTE

### ARCURE

Avec sa caméra Blaxtair® de détection vidéo de piétons, Arcure prévient les collisions entre engins mobiles et piétons dans le BTP et l'industrie (10 000 accidents par an en Europe). Après le lancement en 2018 d'Omega, capteur 3D robuste et haute résolution pour des applications industrielles en environnement difficile, l'option Blaxtair Connect est venue compléter son offre en 2020 avec un outil de pilotage du risque d'accident sur site basé sur des méthodes d'analyse prédictive des données collectées par les caméras.

Née du CEA-List en 2009, Arcure compte aujourd'hui soixante employés, dont une vingtaine d'ingénieurs et docteurs. Arcure, cotée à la Bourse sur Euronext Growth depuis 2019, a réalisé en 2021 un chiffre d'affaires annuel de 10,4 M€, en hausse de 33 %, avec un doublement de celui-ci en Europe (hors France) et aux Etats-Unis.

Grâce à son laboratoire commun avec le List, Arcure développe actuellement des algorithmes de traitement d'images inédits pour de nouvelles applications dans le transport ou l'industrie. Une nouvelle version du Blaxtair® est ainsi prévue en 2022.

Lien article



© Arcure

### EXTENDE

Créée en 2009 par une équipe d'ingénieurs-chercheurs du CEA-List, Extende est aujourd'hui le leader mondial de la simulation CND. La société assure la distribution du logiciel de simulation CIVA développé par le CEA-List, l'assistance technique et la formation associées. Outre ses activités de conseil en CND, Extende a conçu et commercialise une gamme d'outils immersifs pour se former aux principales techniques d'inspection (TrainDE).

Implantée en France, la société a créé en 2011 sa filiale Extende Inc. basée à Norfolk (VA). Ses clients sont des grands industriels du monde entier. Ils évoluent dans les domaines du nucléaire, de l'aéronautique, de l'énergie, de la mécanique, de la métallurgie, de la fabrication de sondes.

Forte de 15 personnes, dont 11 chercheurs ou ingénieurs, la société enregistre un CA annuel de 3 M€, dont 60 % à l'export, grâce aux 350 entreprises utilisatrices de CIVA dans 40 pays.

Lien article



### KALRAY

Avec son architecture manycore brevetée MPPA®, Kalray, société de semi-conducteurs fabless issue d'un essaimage du CEA (List et leti) en 2008, commercialise des processeurs de données intelligents nativement capables de gérer de multiples charges de travail. L'offre de Kalray permet à ses clients de concevoir des applications plus intelligentes, plus efficaces et plus économes en énergie pour les data centers, la 5G, l'IA, le Edge Computing ou les véhicules autonomes.

Sur l'exercice 2021, Kalray réalise un chiffre d'affaires de 1,5 M€, en hausse de 41 %, dans un contexte perturbé par la pénurie de composants. La société compte aujourd'hui parmi ses investisseurs Alliance Venture (Renault-Nissan-Mitsubishi), Safran, NXP Semiconductors, le CEA et Bpifrance.

Après sa collaboration en 2021 avec Viking Enterprise Solutions pour développer la solution de stockage Flashbox™, Kalray a annoncé la prochaine acquisition de la société Arcapix Holdings LTD, pour renforcer son positionnement sur le marché du stockage et du traitement intelligent des données.

Lien site Kalray



© Kalray

### ISYBOT

ISYBOT conçoit des robots collaboratifs issus de la recherche CEA LIST. Grâce à ses qualités mécaniques uniques, ISYBOT apporte compétitivité et attractivité sur des opérations manuelles réputées non automatisables. A travers l'automatisation agile, ISYBOT simplifie la réponse aux besoins de flexibilité et variabilité. Sans modification de l'environnement de travail, nos COBOTS interactifs améliorent la productivité tout en réduisant la pénibilité pour l'opérateur.

ISYBOT opère dans les secteurs de l'aéronautique, du ferroviaire et du nautisme pour les opérations de préparation de surface avant peinture. Créé en fin 2016, la startup a retrouvé en 2021 son niveau d'activité d'avant crise sanitaire avec plus d'1 M€ de chiffre d'affaires et prévoit son doublement sur 2022.

ISYBOT prépare une nouvelle levée de fonds pour financer l'industrialisation d'un nouveau cobot forte charge disponible fin 2022 et son développement à l'export.

Lien article



© Isybot

# LES ÉVÈNEMENTS DE L'ANNÉE 2021



© DR

## JANVIER

### ENGIE, BUREAU VERITAS ET LE CEA ASSURENT LA TRAÇABILITÉ DE L'ÉNERGIE VERTE GRÂCE À LA BLOCKCHAIN

Bureau Veritas et le CEA-List réalisent la première validation de smart contracts par preuve formelle pour la solution digitale de la startup ENGIE TEO (The Energy Origin), renforçant la confiance de ses clients sur l'origine de leur énergie verte.

## JANVIER

### SNOWPACK AU FORUM DE LA CYBERSÉCURITÉ

La startup Snowpack du CEA-List, créée en 2021, s'expose au Forum International de la Cybersécurité FIC 2021, événement de référence en Europe en matière de sécurité et de confiance numérique.



© DR



© DR

## MARS

### LE RÉSEAU EUROPÉEN HIPEAC PUBLIE SON RAPPORT VISION 2021

Selon le CEA-List, l'amélioration des systèmes cyberphysiques, grâce à l'intelligence artificielle, entraînera un besoin accru de confiance, d'autonomie, de sûreté, de sécurité et d'efficacité, tout en minimisant leur impact énergétique et écologique.

## JUIN

### LE JUMENT NUMÉRIQUE POUR L'USINE AGROALIMENTAIRE DE DEMAIN

Le CEA a développé, en collaboration avec Siemens et l'équipementier Guelt, un jumeau numérique adapté aux spécificités de la filière agroalimentaire, premier secteur industriel français. Il est présenté pour la première fois au Carrefour des Fournisseurs de l'Industrie Agroalimentaire (CFIA) à Rennes.



© DR



© DR

## JUILLET

### LANCEMENT DE CONFIANCE.AI

Avec ce programme, un collectif de 13 industriels et acteurs français de la recherche relève le défi de l'industrialisation de l'intelligence artificielle (IA) pour les produits et services critiques.

## JUILLET

### DOLPHIN DESIGN ET LE CEA S'ASSOCIENT POUR CRÉER UNE NOUVELLE PLATEFORME D'IA EMBARQUÉE

L'objectif est de proposer une offre Edge-IA alliant flexibilité du logiciel, efficacité énergétique et performances. L'accélérateur matériel PNeuro® du CEA-List, combiné aux solutions de traitement de Dolphin Design, permet d'embarquer de l'IA dans la plateforme de calcul développée conjointement.



© Dolphin

# LES ÉVÈNEMENTS DE L'ANNÉE 2021



© Pugun & Studio stock.adobe

## SEPTEMBRE

### SIGNATURE DU CONTRAT **CSF SOLUTIONS INDUSTRIE DU FUTUR**

Agnès Pannier-Runacher, ministre déléguée auprès du ministre de l'Économie, des Finances et de la Relance, chargée de l'Industrie, et Frédéric Sanchez, président du Comité Stratégique de Filière, ont signé le 6 septembre 2021 le contrat stratégique de la filière « Solutions Industrie du futur » (S-I-F), dans le cadre du salon Global Industrie organisé à Lyon (69).

## SEPTEMBRE

### **GRAND DÉFI CYBER :** 2 PROJETS EN LUMIÈRE POUR LE CEA-LIST

LEIA pour automatiser l'analyse logicielle garantissant la sécurité des objets connectés et IMRC sur la sécurisation des objets connectés dont les vulnérabilités peuvent être déterminantes pour les réseaux.



© DR



© VALEO/CEA

## OCTOBRE

### RAPPORT DU DÉPUTÉ DAMIEN PICHEREAU SUR « **LE DÉPLOIEMENT EUROPÉEN DU VÉHICULE AUTONOME** »

Les avancées technologiques du CEA-List dans le domaine de la mobilité sont évoquées au fil du rapport. Par exemple la mise au point d'IA embarquées (en partenariat avec Valéo), frugales, sûres et de confiance, permettant la reconnaissance de l'ensemble des usagers de la route pour alimenter les aides à la conduite de demain.

## NOVEMBRE

### CEA LIST DEVIENT MEMBRE DE **SOFTWARE HERITAGE**

À l'occasion des 5 ans de Software Heritage, à l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture, le CEA-List en devient le tout premier membre stratégique.



**Software Heritage**  
THE GREAT LIBRARY OF SOURCE CODE



© DR

## DÉCEMBRE

### **ORANO** ET LE PROJET USINES DE DEMAIN

Orano et ses partenaires lancent udd@Orano pour accélérer le déploiement de l'usine du futur au cœur des sites industriels du groupe. Ce projet fédère 8 partenaires industriels et 3 organismes de recherche dont le CEA-List, 6 TPE-PME (Aeraccess, Axionable, Diota, Ob'dO, Shark Robotics, Sileane), 2 grandes entreprises (Predict, Probayes), l'École des Mines de Saint-Etienne et l'Université Jean Monnet de Saint-Etienne.

# PRIX ET DISTINCTIONS



© DR

## **YUMAIN** REMPORTE LE TROPHÉE DE L'EMBARQUÉ DANS LA CATÉGORIE IOT INDUSTRIE & SERVICES

Fabien Clermidy, chef du département au CEA-List, a remis le trophée en récompense du produit E.C.S., avec son application de détection et d'analyse des pantographes usés ou détériorés, construite autour de capteurs de vision industriels embarquant de l'Intelligence Artificielle.

## **RAFAËL PINOT**, LAURÉAT DU PRIX « JEUNES CHERCHEURS 2020 » DE LA FONDATION DAUPHINE

Sa thèse, réalisée au CEA-List en partenariat avec l'université Paris-Dauphine, traite de l'intelligence artificielle de confiance. Son sujet : améliorer la robustesse des réseaux de neurones face aux attaques antagonistes, perturbations imperceptibles introduites volontairement par un attaquant pour fausser le système.



© DR



© DR

## « **BESTPAPER WAISE** »

Agnes Delaborde (LNE), Huascar Espinoza, Chokri Mraidha et Prajit Rajendran (CEA-List) sont récompensés pour leur travail d'inventaire détaillé des méthodes d'interventions humaines dans l'apprentissage des IA.

## **PRIX DE LA RECHERCHE 2021** DU LABORATOIRE NATIONAL DE MÉTROLOGIE ET D'ESSAIS (LNE)

Anne de Vismes Ott de l'IRSN, Christophe Bobin du CEA-List et Jérôme Bobin du CEA-IRFU sont récompensés pour l'ensemble de leurs travaux sur le développement d'une approche métrologique de la technique du démélange spectral pour l'identification des radionucléides à faible statistique.



© DR



## **2<sup>ÈME</sup> PRIX BERCY/INNOV** OBTENU PAR LE PROJET IA RÉPONSECONSO POUR DGCCRF

RéponseConso est un système d'aide à la réponse automatisée aux consommateurs de la DGCCRF. Pour ce nouveau dispositif, le CEA-List a proposé sa solution hybride de classification basé sur l'IA.

## **PRIX DE L'INNOVATION PENTA** POUR LE PROJET EUROPÉEN SERENE-IOT

Il récompense le développement de moyens sécurisés pour les services de soins et les outils de diagnostic connectés de haute qualité, basés sur l'utilisation d'équipements médicaux intelligents en milieu hospitalier.



© DR

## PRIX ET DISTINCTIONS



© DR

### **PRIX DU POSTER** DE L'ÉCOLE DOCTORALE INTERFACES DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

Sharvane Mauree obtient le Prix du poster de l'école Doctorale Interfaces de l'Université Paris-Saclay dans le pôle Matériaux innovants et leurs applications. Ses travaux portent sur la synthèse de matériaux poreux scintillants capables de détecter des gaz radioactifs.

### **PRIX DE LA THÈSE** DE L'ÉCOLE DOCTORALE INTERFACE DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

Régis Pierrard est récompensé dans le pôle Ingénierie des systèmes complexes pour ses recherches sur l'intelligence artificielle proposant de nouvelles méthodes basées sur l'apprentissage de relations spatiales floues.



### **PRIX DU STAGE** DE RECHERCHE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

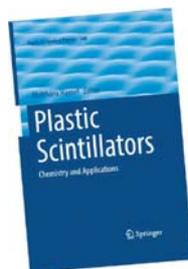
Stéphane Latil, stagiaire de l'équipe Binsec Tool du CEA-List, remporte ce prix pour sa proposition de protections puissantes et peu coûteuses contre les cyberattaques ROP, qui exécutent des parties d'un système pour le pirater en contournant les protections usuelles.

### **« DISTINGUISHED PAPER AWARD »** À L'ICSE

La conférence dans le domaine du génie logiciel récompense la publication sur l'analyse de code assembleur du CEA-List (Frédéric Recoules, Sébastien Bardin et Matthieu Lemerre).



© DR



© DR

### **PUBLICATION DU LIVRE « PLASTIC SCINTILLATORS: CHEMISTRY AND APPLICATIONS » CHEZ SPRINGER NATURE**

Matthieu Hamel, ingénieur-chercheur au CEA-List a dirigé, avec son équipe, la publication d'un ouvrage détaillant l'état de l'art mondial de la chimie et l'application des scintillateurs plastiques à la détection de rayonnements ionisants.

### **PUBLICATION DU RAPPORT « LES VEROUS DE LA BLOCKCHAIN »**

Émis par la DGE (Direction Générale des Entreprises) ce rapport, auquel le CEA-List contribue, recense 18 verrous qui limitent le développement des technologies de blockchain et fait 14 recommandations portant sur les leviers transverses (soutien à la recherche, formation, financement, partenariats) pour favoriser la croissance des blockchains en France.



© DR



**Institut CEA-List**  
**CEA Paris-Saclay Nano-INNOV**  
F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex

