

# RAPPORT D'ACTIVITÉ 2020 du CEA-List



université  
PARIS-SACLAY

INSTITUT  
CARNOT  
CEA LIST

list

cea tech

## SOMMAIRE



### 03 — STRATÉGIE

- 03 — Le CEA-List en quelques mots
- 04 — Enjeux sociétaux
- 08 — Interview d'Alexandre Bounouh, Directeur du CEA-List
- 10 — Qui sommes-nous ?
- 12 — Temps forts 2020
- 14 — Chiffres-clés 2020



### 15 — OUTSIDE

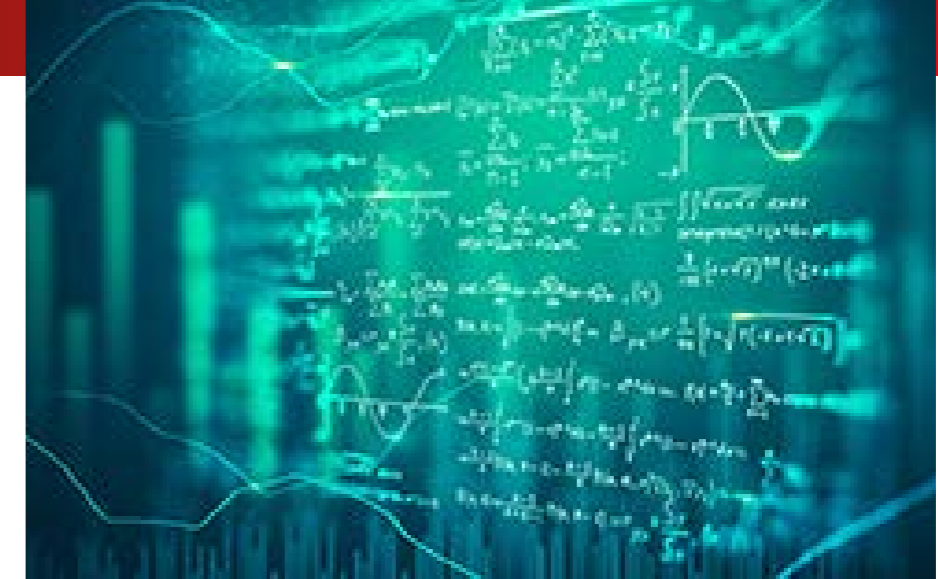
- 16 — DigiHall : un pont entre la science et l'industrie
- 17 — FactoryLab, l'intelligence collective pour l'industrie du futur
- 18 — Le CEA-List au cœur des écosystèmes économiques français
- 20 — Le CEA-List, acteur engagé au service de l'ambition européenne
- 22 — Le CEA-List, acteur de référence de la blockchain



### 23 — INSIDE

- 24 — Manufacturing
- 28 — Cybersécurité & sécurité
- 32 — Mobilité
- 34 — Numérique
- 38 — Santé & sports

Conception réalisation — — Crédits photographiques — Droits réservés CEA - Adobe Stock : Blue Planet Studio, Grecaud Paul, Fotomek, LuckyStep - iStock : B4LLS, Warchi, Pawel Gaul, Fotografixx, PeopleImages - Getty : Busakorn Pongparnit, Westend61 - LD



## LE CEA-LIST EN QUELQUES MOTS

Implanté à Paris-Saclay et à Grenoble, le CEA-List est l'un des trois instituts de la Direction de la recherche technologique du CEA. Experts dans le domaine des systèmes numériques intelligents, nous exerçons notre mission de soutien à la compétitivité des entreprises par le transfert technologique et l'innovation.

Porteurs de forts enjeux économiques et sociétaux, nos programmes de R&D sont centrés sur l'intelligence artificielle, l'usine du futur, les systèmes cyberphysiques, le calcul, quantique notamment, et la santé numérique. Labellisé Institut Carnot, notre proximité avec les acteurs industriels nous permet de développer une activité de recherche partenariale avec plus de 200 entreprises chaque année, de toutes tailles et de tous secteurs économiques.

Nos expertises s'exercent dans le cadre de partenariats scientifiques internationaux, et nous sommes engagés dans de nombreux projets collaboratifs européens. Enfin, le CEA-List mène une démarche forte de ressourcement scientifique, pour identifier et préparer les ruptures technologiques de demain.





## **CYBER SÉCURITÉ**



Le développement de systèmes numériques intelligents et leur diffusion vers l'industrie imposent d'intégrer la question de la cybersécurité à l'ensemble de leur cycle de vie. Des recherches sont donc menées au CEA-List pour analyser leurs vulnérabilités mais aussi déployer une protection optimale de ces systèmes, des services qu'ils fournissent et des données qu'ils manipulent.

## **INTELLIGENCE ARTIFICIELLE**



L'IA joue un rôle stratégique dans les transitions énergétique, numérique et dans la médecine du futur. L'IA embarquée permet le traitement d'informations en local, au cœur-même des composants à haute efficacité énergétique. Le CEA-List s'attache également à renforcer la notion d'IA de confiance et de frugalité, en garantissant que les prévisions et recommandations des systèmes d'IA embarquée soient explicables, sans biais et avec une incertitude connue et quantifiable.

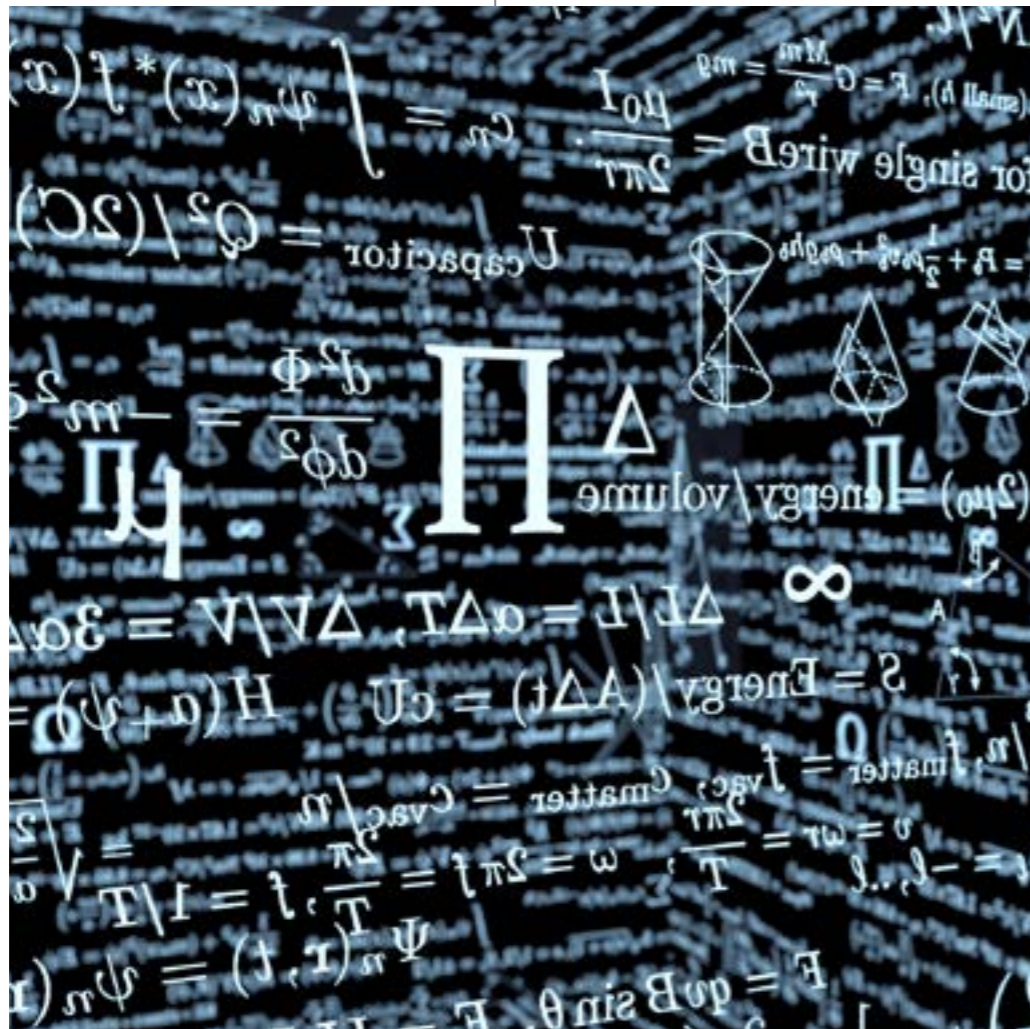




## QUANTIQUE



Le CEA travaille depuis de nombreuses années sur les technologies quantiques. Les recherches récentes du CEA-List portent notamment sur la pile logicielle et les architectures qui permettront la programmation et l'exécution d'applications réalistes sur le futur ordinateur quantique, véritable calculateur à très hautes performances.



## MANUFACTURING



Le futur de l'industrie se dessine dans les laboratoires du CEA-List. Les recherches portent notamment sur le jumeau numérique, la robotique, le contrôle non destructif et la fabrication additive. Pour favoriser le transfert technologique vers les entreprises, l'institut met en place des lignes pilotes, représentatives de l'environnement industriel.







**ALEXANDRE  
BOUNOUH**  
Directeur  
du CEA-List

### Quel bilan tirez-vous de l'année 2020 du CEA-List ?

**A. B. :** En début d'année, nous avons entrepris une démarche de réflexion sur nos programmes scientifiques prioritaires et notre stratégie, en cohérence avec le positionnement du CEA sur les transitions énergétique, numérique et la médecine du futur. En dépit de la crise sanitaire et grâce à la mobilisation de nos équipes, cette initiative a abouti à une nouvelle structuration de nos programmes de recherche, visant à répondre de la façon la plus efficace aux enjeux industriels et sociétaux. Les efforts fournis par nos équipes dans ce contexte difficile nous ont permis de maintenir notre capacité d'innovation et de collaboration avec nos partenaires industriels et académiques. Cette performance s'est illustrée par des publications scientifiques majeures dans des revues et conférences de premier plan et par le dépôt de 83 brevets sur des avancées technologiques-clés. Enfin, nos projets structurants ont également bien avancé comme la labellisation par la DGE de notre dossier E-DIH DigiHall ou encore nos plateformes d'innovation qui seront opérationnelles en 2021.

## « Malgré la situation sanitaire, le CEA-List a maintenu toute sa capacité d'innovation. »

En cette période de crise, les équipes du CEA-List font preuve de résilience et d'agilité pour poursuivre leur mission d'innovation au service de la société et de l'économie française. Avec comme atout leur expertise et comme moteur contribuer à la transformation numérique des entreprises, comme l'explique le Directeur, Alexandre Bounouh.



**NOUS AVONS MAINTENU LES COLLABORATIONS AVEC NOS PARTENAIRES INDUSTRIELS ET ACADÉMIQUES. GRÂCE À LEUR ENGAGEMENT ET LEUR CONFIANCE, NOUS AVONS PU POURSUIVRE ET CONCRÉTISER NOS PROJETS COMMUNS.**

### Comment le CEA-List a-t-il fait face à la crise de la Covid-19 ?

**A. B. :** Les équipes du CEA-List ont fait preuve de fortes capacités d'adaptation et d'agilité. Lors du premier confinement, nous avons très rapidement mis en place les moyens nécessaires pour poursuivre nos activités de recherche et mener à bien nos missions grâce aux outils numériques qui nous ont permis de continuer de communiquer et de travailler à distance. Tout cela a permis de conforter nos convictions sur la place stratégique du digital dans l'évolution du monde.

### Quelles perspectives se dessinent pour l'année 2021 ?

**A. B. :** Pour relancer notre économie, les pouvoirs publics lancent des stratégies d'investissement dans plusieurs filières industrielles avec des financements de l'innovation portés par le plan de relance « France Relance » ou encore le 4<sup>e</sup> programme d'investissement d'avenir. Ces initiatives appellent à une accélération de l'innovation dans certains domaines-clés, qui constituaient déjà des lignes de force pour notre institut : l'intelligence artificielle, le quantique, la cybersécurité ou encore l'industrie du futur. Elles représentent donc pour nous un important levier de développement technologique en lien avec nos partenaires industriels. C'est également le cas au niveau européen avec les nouveaux programmes Horizon Europe et Digital Europe qui seront lancés en 2021 et dans lesquels nos thématiques trouvent toute leur place avec de forts enjeux sur les questions du numérique, l'industrie et la décarbonation dans le cadre du Green Deal.

### Quels sont les marqueurs de cette année 2020 ?

**A. B. :** Il y a tout d'abord notre capacité à avoir lancé des initiatives autour de la Covid-19. Je pense notamment au projet CLEAR (CEA-List Emergency Assistance for Respiration), au cours duquel deux dispositifs dédiés à l'assistance respiratoire d'urgence ont été conçus, ou encore celui avec l'hôpital Foch sur la détection précoce du virus. Ces développements ont constitué une véritable aventure humaine : nous avons pu répondre à l'urgence et nous investir dans des initiatives répondant à des besoins sociétaux. Tirant les leçons de cette crise sans précédent, nous avons été parmi les premiers à affirmer que la France et l'Europe devaient profiter du levier des technologies numériques pour transformer notre industrie et relocaliser les moyens de production. Nous portons aujourd'hui des propositions autour de cette thématique pour créer des plateformes de recherche et d'innovation structurant des écosystèmes d'industriels, utilisateurs finaux, intégrateurs et porteurs de technologies. Tout cela dans un écosystème de renommée internationale, celui de l'Université Paris-Saclay qui s'est hissée au plus haut des classements internationaux.

POUR EN SAVOIR+ :



**100**

AVANCÉES TECHNOLOGIQUES  
EN 2020

# Qui sommes-nous ?

Basé à Saclay et à Grenoble, le CEA-List rassemble 900 ingénieurs-chercheurs et techniciens autour d'un domaine d'excellence : les systèmes numériques intelligents. Au cœur de leur mission : assurer le transfert technologique d'innovations en direction du monde industriel.



01

## UNE MISSION DE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE

— SPÉCIALISÉ DANS LES SYSTÈMES NUMÉRIQUES INTELLIGENTS, le CEA-List est investi d'une mission d'innovation et de transfert technologique en direction du monde industriel. Les technologies de rupture développées par l'institut permettent ainsi chaque année à plus de 200 entreprises partenaires de renforcer leur compétitivité économique. Le CEA-List travaille par ailleurs à la mise en place d'écosystèmes favorisant ces transferts. Des plateformes d'innovation ouverte sont constituées pour encourager le travail collaboratif avec les partenaires industriels et des liens avec les techno-providers (parmi lesquels des startups du CEA-List) sont encouragés.

02

## UN EXPERT DES SYSTÈMES NUMÉRIQUES INTELLIGENTS

— L'INSTITUT DÉVELOPPE DES EXPERTISES reconnues à l'international dans de nombreux domaines tels que la cybersécurité, la santé numérique, l'intelligence artificielle ou encore le manufacturing avancé. Les travaux scientifiques menés au sein du CEA-List font l'objet chaque année de publications dans des conférences et revues internationales de premier plan. Parmi les avancées qui ont marqué 2020 figurent notamment l'utilisation des méthodes formelles pour valider un algorithme de Deep learning. Des travaux remarquables ont également été menés sur les vérifications d'applicatifs sur une machine quantique, ainsi que, dans le domaine de la cybersécurité, sur les attaques temporelles. Enfin, la création de plateformes demeure un domaine d'expertise de l'institut. En témoigne la mise en communauté en 2020 de deux d'entre elles, une sur l'intelligence artificielle embarquée, une seconde sur l'annotation automatique des images du Web.



03

## UNE CULTURE INDUSTRIELLE

— LE CEA-LIST est reconnu pour l'excellence de sa recherche et sa capacité d'innovation. L'institut dispose par ailleurs d'une grande connaissance du milieu industriel qui lui permet d'identifier avec précision les besoins des entreprises. Cette proximité est également un atout pour réussir les missions de transfert technologique en direction des partenaires. Les équipes du CEA-List sont animées par une culture du résultat, avec des objectifs de coûts, de délais et de performances. Une culture industrielle qui fait la spécificité de l'institut dans le monde de la recherche et lui permet de relever avec succès les enjeux de scalabilité des technologies.

04

## INSTITUT CARNOT, UN LABEL D'EXCELLENCE

— OBTENU EN 2006, le label « Institut Carnot » du CEA-List a été renouvelé pour la 4<sup>ème</sup> fois en 2020. Il démontre toute la qualité de la recherche partenariale de l'institut. Il lui permet également de disposer de financements, dont une importante part va être consacrée à des actions de ressourcement scientifique et à l'identification des ruptures technologiques de demain. Le CEA-List souhaite ainsi engager des travaux dans des technologies ayant encore une faible maturité. Un programme vient ainsi d'être lancé autour de la pile logicielle quantique. Un écosystème de plateformes numériques pour le manufacturing a également été mis en place.



# Temps forts 2020



## CES Las Vegas DES DÉMONSTRATIONS AU CES

Le CEA a participé en janvier 2020 au CES de Las Vegas, plus grand rendez-vous mondial de l'innovation technologique. L'occasion, pour le CEA-List, de présenter des démonstrations de ses innovations liées à la mobilité du futur. Les visiteurs ont pu découvrir AI vs Wild, une solution protégeant les systèmes d'intelligence artificielle et les réseaux neuronaux des attaques adversariales ; DeepRed, des analyseurs de logiciels basés sur le raisonnement mathématique pour renforcer la cybersécurité des codes sources et binaires ; DeepManta, fruit du partenariat entre le CEA-List et Valeo, un algorithme d'intelligence artificielle temps réel pour de nombreuses tâches : localisation de véhicules et piétons en 3D, planification de la trajectoire de véhicules autonomes...

## IA de confiance

### LE CEA-LIST S'IMPLIQUE DANS LA COMMUNAUTÉ INTERNATIONALE

François Terrier, Directeur de recherche au CEA-List, a présenté un keynote lors du workshop SafeAI 2020 (New-York, USA) sur la notion de qualification incrémentale et évolutive des systèmes basés sur l'intelligence artificielle. Il a mis en évidence la nécessité de la formaliser et de l'intégrer au plus tôt dans le processus de spécification des guides et normes de qualification.



## Startup

### ARCURE PRÉSENTE BLAXTAIR® CONNECT

La PME Arcure, société industrielle issue du CEA-List, a lancé sa nouvelle solution Blaxtair® Connect pour la détection de piétons sur les sites industriels. Développée au sein de son laboratoire commun avec le CEA-List, elle transmet dans le Cloud les données de caméras Blaxtair® de détection de piétons pour les analyser. Le système Connect identifie les lieux et horaires où le risque d'accident entre engins et piétons est le plus élevé, et évalue l'efficacité des actions de prévention mises en œuvre.



## Partenariats industriels

### RENOUVELLEMENT DE LA LABELLISATION DU CEA-LIST

Le CEA-List a été labellisé Institut Carnot pour la 4<sup>ème</sup> fois consécutive en février 2020. Ce renouvellement récompense la qualité et le professionnalisme de ses activités de recherche partenariale avec les acteurs économiques.

# 39

INSTITUTS DE RECHERCHE LABELLISÉS « INSTITUT CARNOT » EN FRANCE



## Blockchain et industrie

### LA MISSION LIVRE SES RECOMMANDATIONS

Le CEA-List, Inria et l'IMT, à qui l'État a confié la Mission Blockchain, ont présenté en février 2020 à Bercy les conclusions de leur rapport sur les verrous scientifiques et technologiques de la blockchain française. Ils ont livré leurs recommandations pour lever ces verrous en vue de déployer la blockchain dans l'industrie. Ils ont également réalisé une cartographie des formations, de la recherche et des startups impliquées dans ce domaine en France.

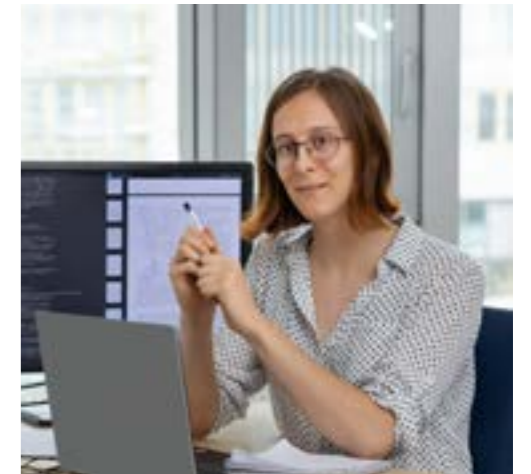


## Deep learning

### L'ANALYSEUR LINGUISTIQUE DEEP LIMA ADRESSE PLUS DE 60 LANGUES

Déjà très utilisé dans sa version antérieure, l'analyseur linguistique LIMA développé par le CEA-List a évolué vers une nouvelle version (baptisée Deep LIMA) capable de mener des analyses approfondies. Enrichie par des modules d'apprentissage profond, Deep LIMA voit ainsi ses capacités d'analyse, de résumé automatique et de traduction boostées par l'utilisation du Deep Learning et l'implémentation *ad hoc* de modèles de réseaux de neurones de la communauté.

Ce sont ainsi désormais plus de 60 langues (contre 6 pour la version précédente) qui peuvent être analysées avec des performances à l'état de l'art.



## Women in Science

### LESLY-ANN DANIEL REMPORTE LE PRIX JEUNES TALENTS 2020

Doctorante au CEA-List, Lesly-Ann Daniel a reçu en octobre 2020 le Prix Jeunes Talents « Women in Science » décerné par la Fondation L'Oréal-Unesco. Aujourd'hui en troisième année de thèse, elle mène des recherches en cybersécurité. Elle conçoit des logiciels capables d'analyser automatiquement des programmes pour trouver des failles de sécurité ou garantir leur absence.

## Calcul haute performance

### LES ARCHITECTURES MULTICOEURS EN POLE POSITION

Invité à la prestigieuse conférence International Electron Devices Meeting (IEDM) en décembre 2020, Denis Dutoit a montré comment la combinaison des architectures multicœurs du CEA-List et des technologies d'intégration 3D du CEA-Leti contribuaient au calcul haute performance (HPC) de niveau exascale.

# Chiffres-clés 2020

## PROJETS ET PARTENARIATS

**137** projets européens déposés  
par le CEA-List, **30%** de taux de succès

**25** startups créées  
depuis 2003 dont **3** nouvelles startups  
en 2020

**200** partenaires industriels  
dont **45%** de PME

**22** plateformes technologiques

## EFFECTIFS

**900** ingénieurs-chercheurs et techniciens  
**114** thésards  
**50%** des salariés recrutés ont moins de 30 ans

## VALORISATION

**300**  
publications  
de rang A  
en 2019

**83**  
brevets  
déposés  
en 2020

**+ de 665**  
familles  
de brevets actifs

**152**  
licences  
en vigueur

## OUTSIDE



16  
DIGIHALL : UN PONT  
ENTRE LA SCIENCE  
ET L'INDUSTRIE

17  
FACTORYLAB,  
L'INTELLIGENCE  
COLLECTIVE POUR  
L'INDUSTRIE  
DU FUTUR

18  
LE CEA-LIST AU CŒUR  
DES ÉCOSYSTÈMES  
ÉCONOMIQUES  
FRANÇAIS

20  
LE CEA-LIST, ACTEUR  
ENGAGÉ AU SERVICE  
DE L'AMBICTION  
EUROPÉENNE

22  
LE CEA-LIST,  
ACTEUR DE  
RÉFÉRENCE  
DE LA BLOCKCHAIN

## INNOVER POUR L'INDUSTRIE

Les innovations du CEA-List s'inscrivent chaque année dans l'accompagnement de nombreuses entreprises françaises, européennes et internationales.

Ces collaborations avec les acteurs industriels contribuent à l'émergence des solutions opérationnelles de demain.



## DIGIHALL, UN SOUTIEN INDISPENSABLE À LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE DES ENTREPRISES

DigiHall-European Digital Innovation Hub (EDIH) est un catalyseur pour la transformation numérique, le développement durable et la résilience des entreprises.



### Au service des entreprises

C'est la plus grande communauté de chercheurs en Europe. DigiHall-EDIH, pôle d'excellence des technologies du numérique, regroupe à Paris-Saclay plus de 1500 scientifiques bénéficiant d'une forte renommée internationale. Il met ses expertises et ses moyens au service des entreprises dans les domaines de l'intelligence artificielle, la cybersécurité, les infrastructures numériques, le quantique et l'industrie du futur.

Il leur offre ainsi l'opportunité de développer des produits, services et procédés innovants sur la base de nouvelles technologies numériques en mettant à leur disposition des infrastructures et moyens communs, une colocalisation unique d'acteurs industriels, de la recherche, de la formation ainsi que des structures d'accompagnement.

### Une offre globale

Le DigiHall-EDIH regroupe 18 partenaires qui proposent de nombreuses offres de services aux acteurs des filières stratégiques pour la région Île-de-France. Regroupant les principaux acteurs de l'accompagnement des entreprises, de la formation, de la

recherche et de l'innovation et du transfert technologique, DigiHall a pour mission d'être le point d'entrée régional des entreprises pour faciliter leur accès à :

- Une évaluation de leur niveau de maturité technologique ;
- Des propositions de diagnostics et de solutions adaptées aux besoins identifiés, s'appuyant sur les partenaires de DigiHall et de son réseau ;
- Un accompagnement humain (compétences et formations) pour la mise en œuvre tangible de leur transition numérique.

### Une ambition européenne

La labellisation du DigiHall-EDIH a été initiée via l'appel à manifestation d'intérêt « European Digital Innovation Hub » lancé par le gouvernement français, qui a choisi DigiHall-EDIH pour candidater à l'appel de la Commission européenne. Prévu en 2021, celui-ci désignera les hubs les plus performants pour « renforcer la compétitivité de l'Union européenne dans le domaine des technologies numériques et veiller à ce que chaque entreprise en Europe (...) puisse tirer pleinement profit des innovations numériques ».

## LA POSITION STRATÉGIQUE DU CEA-LIST

Le CEA-List mène de nombreux travaux de recherche et d'innovation dans les systèmes numériques intelligents. Dans le même temps, l'institut travaille au transfert technologique en direction du monde industriel. Cette double mission lui offre une position stratégique propre à créer des liens entre les mondes académiques et industriels, et construire des projets structurants tant au niveau national qu'europpéen. L'institut joue ainsi un rôle central dans la constitution d'écosystèmes favorisant les transferts technologiques et fédérant de nombreux acteurs comme DigiHall ou FactoryLab.



FactoryLab

## L'INTELLIGENCE COLLECTIVE POUR L'INDUSTRIE DU FUTUR

**Industriels et acteurs de la recherche renouvellent le consortium FactoryLab pour quatre ans supplémentaires afin de poursuivre le développement de solutions pour l'usine du futur. Au cœur de la stratégie du consortium : mener sur un temps court des projets répondant à des besoins communs entre industriels de filières différentes.**

### Un point de rencontre stratégique

Situé à Paris-Saclay, FactoryLab est un forum stratégique d'échanges entre industriels pour partager les bonnes pratiques et adresser des problèmes communs. Il s'appuie sur un écosystème de Recherche & Développement (PME et acteurs de la recherche) capable d'y répondre. Le consortium créé se veut un lieu de fertilisation croisée inter-filières. Réunissant 29 membres, il offre un modèle innovant d'échange et de mutualisation de ressources, qui procure un réel effet de levier en matière de création de valeur.

### Une rapidité d'exécution

Cette plateforme d'innovation pour l'industrie du futur a un atout majeur : sa capacité à déployer très rapidement des solutions technologiques sur le marché. Les projets courts visent à réaliser des démonstrateurs préindustriels en 12 mois. Pour être lancés, les projets doivent susciter l'intérêt d'au moins trois utilisateurs finaux issus de secteurs différents. Les fournisseurs de technologie ont ainsi l'assurance d'un marché de taille suffisante pour s'engager dans les projets et développer une solution en vue de son industrialisation.

### Un modèle reproductible

Fort de son succès et de son efficacité, le modèle d'innovation porté par FactoryLab pour le manufacturing a vocation à être dupliqué dans d'autres domaines. Ces « clubs affiliés » réuniront des industriels de différents secteurs dans une approche collaborative, afin de répondre à leurs besoins.

### Premier bilan de la première phase

50 projets d'innovations ont été lancés au sein de FactoryLab depuis la création du consortium, en 2016. Parmi ceux qui ont marqué l'année 2020 figure notamment Divora, avec le développement d'un démonstrateur de génération automatique de rapports par dictée vocale. C'est également le cas de GECO, suite logicielle outillée intelligente pour l'optimisation dynamique en temps réel des processus de production. La nouvelle phase qui commence à partir de janvier 2021 sera l'occasion, pour le consortium qui va s'enrichir de nouveaux partenaires, de lancer d'autres projets de développement notamment autour de l'optimisation énergétique et de la décarbonation.



# LE CEA-LIST AU CŒUR DES ÉCOSYSTÈMES ÉCONOMIQUES FRANÇAIS

Le CEA-List s'intègre dans des écosystèmes régionaux et nationaux où il va travailler aux côtés d'entreprises de nombreux secteurs pour mener à bien des projets novateurs. Au plus près des besoins des industriels, l'institut œuvre ainsi au renforcement de leur compétitivité économique. Voici quelques collaborations portées en 2020.



**Intelligence artificielle embarquée : des outils d'optimisation en collaboration avec STMicroelectronics**  
Le CEA-List est également au cœur de l'écosystème de la microélectronique, dans le cadre d'une collaboration initiée avec le géant des semi-conducteurs, STMicroelectronics. Elle doit permettre d'accélérer l'adoption des technologies d'intelligence artificielle sur le portefeuille de puces ST pour les secteurs de l'électronique grand public, l'industriel ou encore de la santé. Le

CEA-List apporte notamment à ST son expertise dans l'optimisation et le déploiement de réseaux neuronaux sur ses cibles matérielles embarquées.

#### Connecting Food : une plateforme de transparence alimentaire

Le CEA-List s'implique dans le domaine de la traçabilité agro-alimentaire. L'institut a créé en 2018 un laboratoire commun avec la startup Connecting Food pour développer une solution d'audit alimentaire basée sur la blockchain. Grâce à cette innovation, Connecting Food est l'entreprise qui a déployé le plus de projets blockchain pour l'alimentaire en Europe. L'expertise du CEA-List contribue au rayonnement de cette jeune pousse française et au déploiement de nouvelles solutions.

#### Optimiser les processus de planification dans la logistique

Le CEA-List réalise également des transferts technologiques en direction du secteur de la logistique. Piloté par la plateforme régionale de transfert technologique (PRTT) CEA Tech des Hauts-de-France, le projet SONARIS vise à mettre en place un démonstrateur de plateforme logicielle basée sur l'outil Papyrus du CEA-List pour l'élaboration et le déploiement de jumeaux numériques fonctionnels dans le domaine de la logistique. Le démonstrateur sera complété par un bouton haptique innovant, basé sur des fluides magnétorhéologiques. Il permettra une navigation rapide et intuitive dans les nombreux menus de l'interface visuelle. Le projet s'appuie



LA SYNERGIE DE NOS COMPÉTENCES ET DE NOS SAVOIRS NOUS A PERMIS D'INTÉGRER DANS NOS SOLUTIONS LOGICIELLES – NOTAMMENT INTERACT ET XR TWIN – LE MOTEUR PHYSIQUE XDE DÉVELOPPÉ PAR LE CEA, UNE INNOVATION RÉSOUVANT LES ENJEUX LIÉS À LA PRÉCISION DE LA SIMULATION PHYSIQUE DANS UN CONTEXTE VIRTUEL ET QUI VA CERTAINEMENT RÉVOLUTIONNER L'INDUSTRIE D'AUJOURD'HUI.

**ALEXANDRE AVENEL**, Interact Product Manager chez Light & Shadows

sur la participation de six partenaires industriels, dont le prestataire logistique LOG'S, avec qui le CEA-List avait déjà effectué une collaboration sur la thématique du jumeau numérique visant à optimiser le dimensionnement des prestations logistiques et l'estimation précise des coûts associés.

#### Observer un réacteur nucléaire en toute sécurité

Le projet Réacteur numérique, associant le CEA, EDF, Framatome et six autres acteurs de l'ingénierie et du nucléaire, a été lancé en 2020. S'inscrivant dans le contrat stratégique « Filière nucléaire

française », il a pour objectif de créer un jumeau numérique de réacteur nucléaire couvrant ses phases de conception, d'exploitation et de déconstruction. Via son expertise outillée en ingénierie logicielle et systèmes critiques, le CEA-List contribuera à ce double virtuel, qui permettra de simuler le fonctionnement du réacteur en toutes conditions et de l'observer en toute sécurité. Une plateforme commune proposera un simulateur d'entraînement pour la formation des exploitants et l'élaboration de nouvelles offres numériques à l'export via des services de simulation.



# LE CEA-LIST, ACTEUR ENGAGÉ AU SERVICE DE L'AMBITION EUROPÉENNE

Acteur-clé des systèmes numériques intelligents, le CEA-List est impliqué dans de nombreux projets scientifiques avec des partenaires étrangers et participe activement à la définition de la stratégie européenne de recherche.

## 30 %

C'est le taux de succès obtenu par le CEA-List pour les projets européens dans lesquels il s'était engagé.

## 137

C'est le nombre de projets déposés par le CEA-List en 2020.

### Au cœur des projets européens

En nous appuyant sur nos compétences scientifiques et technologiques, nous appliquons depuis plusieurs années une stratégie volontariste au niveau européen. Nous déposons ainsi près de 150 projets chaque année, avec un taux de succès qui a atteint 30% en 2020. Notre légitimité et notre renommée croissante nous ont permis d'intégrer de nombreuses instances stratégiques dans la programmation européenne. Nous représentons ainsi le CEA dans plusieurs communautés de l'EIT-European institute of innovation and technology (Manufacturing, Digital, Food), mais également dans une dizaine d'associations européennes sur le big data, la robotique, l'usine du futur, les systèmes em-

barqués ou la cybersécurité (BDVA, EURobotics, EFFRA, Artemis, ECSO...).

### Des hubs d'innovation numérique au service des entreprises

Nous sommes engagés dans plusieurs Digital Innovation Hub (DIH) et dans l'initiative AI-DIH, réseau de DIH européens en intelligence artificielle. Nous portons plus spécifiquement le projet DigiHall-EDIH, soutenu par la région Île-de-France (voir page 16), qui donnera à DigiHall, pôle du numérique à Paris-Saclay, une dimension d'accélérateur pour les entreprises. Associant 18 partenaires – acteurs de la recherche, pôles de compétitivité, incubateurs mais aussi les EIT Digital et Manufacturing – DigiHall-EDIH offrira de nouveaux services en vue de la transformation numérique des entreprises.

## UN RÉSEAU DE COMPÉTENCES EN CYBERSÉCURITÉ

Le CEA-List assure la coordination du réseau européen de compétences en cybersécurité Sparta. Ce consortium rassemble 44 acteurs de 14 États-membres chargés de repenser la stratégie européenne de recherche, d'innovation et de formation avec pour objectif de renforcer l'autonomie stratégique de l'Europe. Sparta a impulsé quatre programmes de recherche ciblant les activités à dominante humaine (la santé), économique (l'énergie, les finances et les transports), technologique (les



technologies de l'information et de la communication et l'industrie) et régaliennes (les administrations électronique et publique).



## INTEGRADDE, LA FABRICATION ADDITIVE POUR L'USINE DU FUTUR

Les équipes du CEA-List sont fortement impliquées dans le projet européen Integradde, qui rassemble 26 partenaires répartis dans 11 pays dans une approche orientée industrie. Son objectif est double : développer une nouvelle solution couvrant la totalité des étapes de la fabrication de pièces de grandes tailles, d'une part, et démontrer le potentiel des procédés de fabrication additive par dépôt d'énergie direct (DED) pour la fabrication de composants certifiés, d'autre part. La certification des pièces réalisées par fabrication additive constitue un enjeu majeur pour les secteurs industriels stratégiques de l'aéronautique, de l'automobile, de la production métallurgique ou du BTP.

## UN RAYONNEMENT À L'ÉCHELLE INTERNATIONALE

Le CEA-List mène des recherches avec des laboratoires académiques internationaux prestigieux, comme ceux de l'Université Stanford sur des orchestrateurs avancés. À l'interface des mondes physique et virtuel, ces « anges gardiens » sécuriseront les différents services fournis par le « next web ». L'institut travaille également avec l'Université de Californie à Berkeley, autour de la conception de systèmes à criticité mixte, entre autres sur base RISC-V. Notre reconnaissance internationale s'incarne également par l'activité de nos startups : spécialisée dans les cibles de tir électroniques interactives et connectées, Sport Quantum s'exporte ainsi dans 20 pays à travers le monde (Europe, Asie, États-Unis). Kalray est, pour sa part, partie en 2020 à la conquête du marché chinois : l'entreprise a signé un contrat de distribution de ses solutions de calcul intensif pour les applications d'intelligence artificielle dans ce marché en pleine expansion. Citons également Arcure, acteur du smart manufacturing : présent dans plus de 30 pays sur tous les continents, la spin-off du CEA-List se positionne aujourd'hui comme un des leaders des capteurs intelligents pour renforcer l'autonomie des véhicules industriels.

## LE PRIX « ÉTOILES DE L'EUROPE 2020 »



Le projet INSPEX, coordonné par le CEA-List, a permis de développer un système d'assistance aux personnes malvoyantes sous la forme d'un dispositif portable de perception de l'environnement par fusion de données, couplé à une interface audio spatialisant en 3D les obstacles potentiellement dangereux. Le prix spécial du jury « Étoiles de l'Europe 2020 » valorise le travail mené par les neuf partenaires du projet, provenant de six pays européens pour créer une véritable « bulle de sécurité » autour des malvoyants.



# LE CEA-LIST, ACTEUR DE RÉFÉRENCE DE LA BLOCKCHAIN



Le CEA-List a développé très tôt des compétences reconnues dans la blockchain, technologie qui a trouvé de nombreuses applications industrielles. Cette expertise a valu à l'institut d'être choisi par le gouvernement français pour participer activement à sa stratégie blockchain.

Les chercheurs du CEA-List ont lancé depuis plusieurs années des travaux autour de la technologie blockchain, outil stratégique pour le stockage et la transmission d'informations sécurisées. Leurs recherches récentes ont porté sur le protocole de consensus immédiat, peu énergivore. Ils ont analysé les comportements possibles des utilisateurs et repéré des mécanismes d'incitation efficaces en vue de sécuriser davantage les transactions.

Dès 2018, la startup Connecting Food a choisi le CEA-List pour l'aider à développer une solution basée sur la blockchain afin de contrôler en temps réel la conformité d'un produit alimentaire à son cahier des charges du producteur au consommateur. Un transfert de l'approche par consensus immédiat vers la startup a été lancé pour encourager les acteurs de la filière (producteurs,

transformateurs, etc.) à entrer leurs certificats dans la blockchain pour une transparence accrue.

L'institut s'est engagé dans plusieurs autres partenariats : avec Engie et Bureau Veritas pour assurer la traçabilité de l'énergie verte grâce à la blockchain ; avec EDF pour l'aider à simuler des applications blockchain avec des cas d'usage représentatifs en vue de certifier ses processus nucléaires.

Devenu un acteur de référence, le CEA-List a été choisi par le gouvernement, aux côtés d'Inria et de l'IMT, pour mener une mission sur les verrous technologiques de la blockchain. Un rapport d'orientations stratégiques a été rendu sur le sujet en février 2020, pour permettre à l'État d'engager des actions de soutien à la recherche et à l'innovation, de formation et de financement.

## INSIDE



- 24 MANUFACTURING
- 28 CYBERSÉCURITÉ & SÉCURITÉ
- 32 MOBILITÉ
- 34 NUMÉRIQUE
- 38 SANTÉ & SPORTS

## PROGRAMMES DE RECHERCHE

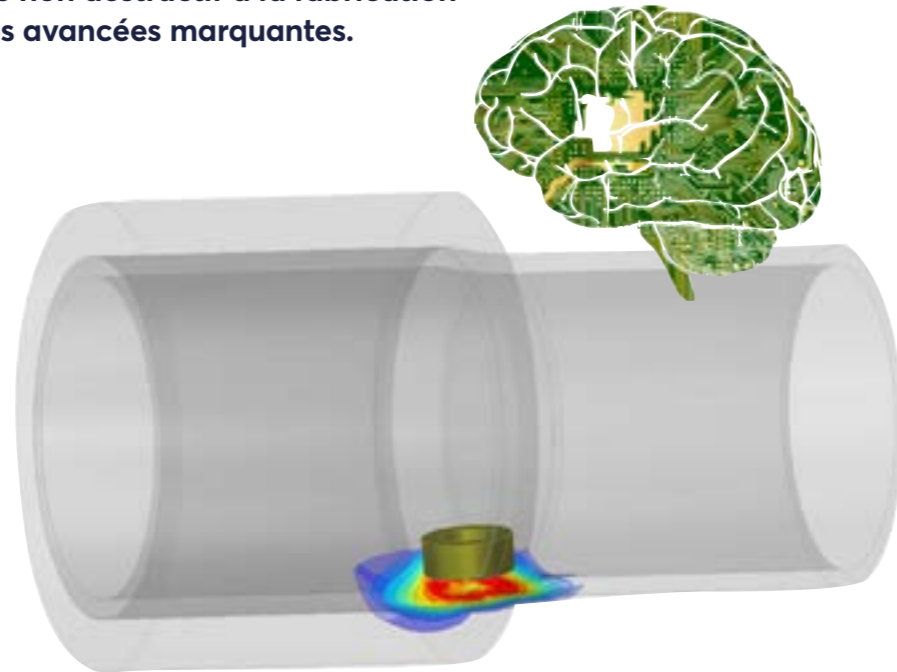
Le CEA-List s'appuie sur des équipes d'ingénieurs-chercheurs au service de ses 5 programmes de recherche : manufacturing avancé, cybersécurité, mobilité, numérique et santé, avec l'objectif commun de favoriser les avancées technologiques pour la société et l'industrie.

POUR EN SAVOIR+ :



# Manufacturing

Les recherches menées par le CEA-List dans le manufacturing avancé contribuent à une production plus agile, plus réactive, plus performante et de qualité. De la robotisation au jumeau numérique, du contrôle non destructif à la fabrication additive, voici quelques avancées marquantes.



## CIVA 2020, UNE SUITE LOGICIELLE À LA POINTE DE LA PERFORMANCE

UNE NOUVELLE VERSION DU LOGICIEL CIVA DÉDIÉ AU CONTRÔLE NON DESTRUCTIF (CND) A ÉTÉ LANCÉE EN 2020. DÉVELOPPÉE PAR LE CEA-LIST, CETTE PLATEFORME INTÈGRE LES DERNIÈRES AVANCÉES EN MATIÈRE DE SIMULATION, DE TRAITEMENT DE DONNÉES ET D'ANALYSE POUR LE CND.



## L'IA BOOSTE LE DIAGNOSTIC EN CONTRÔLE NON DESTRUCTIF

De nombreuses tâches industrielles requièrent un diagnostic automatique ou une aide au diagnostic : détection et caractérisation des indicateurs après l'inspection, contrôle santé intégré ou monitoring en fabrication additive par exemple. L'usage, encore peu répandu, de solutions d'intelligence artificielle (IA) et d'apprentissage automatique apporte de nouvelles perspectives pour automatiser le traitement des données issues du Contrôle Non Destructif (CND).

Le CEA-List a développé une méthodologie de développement d'outils de diagnostic fondée sur l'exploitation des techniques d'IA et de la simulation physique. Ils ont permis d'enrichir la plateforme logicielle CIVA de nouvelles fonctionnalités, avec à la clé des résultats très probants dans les secteurs de l'aéronautique, de l'énergie et de l'équipement pour le CND.



## INDUSTRIE DU FUTUR : UN PREMIER CAS D'USAGE POUR LE ROBOT COMPAGNON

L'un des défis de l'industrie du futur est celui de l'agilité : demain, les systèmes de production devront pouvoir être reconfigurés très rapidement.

La robotique, rendue plus performante, plus interactive, plus intelligente et communicante, jouera un rôle-clé dans cette évolution. Faciles à utiliser, les futurs robots pourront apprendre et réaliser rapidement de nouvelles tâches.

Afin d'anticiper ces mutations, le CEA-List a lancé dès 2019 le projet Carnot Robot-Compagnon. Son objectif est de concevoir une solution intégrant un large éventail de technologies pour doter le robot de fonctionnalités physiques et cognitives.

*In fine*, ce robot sera capable de réaliser des tâches complexes et de passer « à la volée » d'un poste à un autre selon les besoins de partage du travail des différents opérateurs de l'usine. Une première version du robot a été mise au point en 2020 : « Il s'agit pour l'instant d'un robot fixe capable de reconnaître différentes pièces, de les localiser, les saisir et les assembler, de manière autonome, ou avec l'aide d'un opérateur en cas de besoin », explique Florian Gosselin, Responsable scientifique au CEA-List. Le premier cas d'usage porte sur l'assemblage d'une douzaine de pièces (écrous, engrenages,

## UNE COMMUNAUTÉ POUR LA CONCEPTION DE LOGICIELS DE ROBOTIQUE

Le projet européen H2020 RobMoSys (2017-2020) piloté par le CEA a contribué à la structuration d'une plateforme commune et d'un standard de développement logiciel pour la robotique. Objectif : permettre aux industriels de créer à coût maîtrisé des logiciels de robotique efficaces, modulaires et flexibles. Basé sur la plateforme open source d'ingénierie dirigée par les modèles du CEA-List, le projet a abouti à la réalisation d'une méthode et d'un nouvel environnement de développement logiciel nommé Papyrus for Robotics. Celui-ci a déjà été appliqué à plusieurs cas d'usage industriels, par exemple par l'entreprise GMV dans le contexte d'un robot d'inspection autonome.

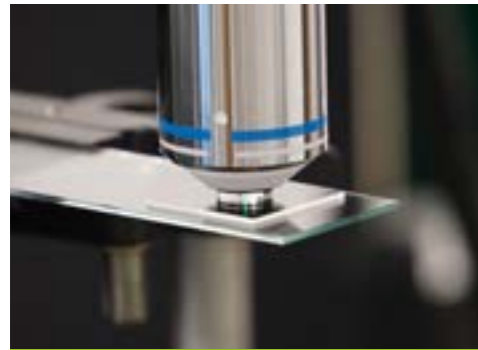


LE ROBOT COMPAGNON REPRÉSENTE UN JALON VERS NOTRE VISION DE L'INDUSTRIE 5.0. GRÂCE À DES MACHINES APPRENANTES ET PLUS INTERACTIVES, IL EST POSSIBLE DE CONCEVOIR DES USINES RAPIDEMENT RECONFIGURABLES, QUI APPRENNENT DE L'HUMAIN ET DE SON ENVIRONNEMENT, EN UTILISANT DES TECHNIQUES D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PLUS FRUGALES ET EFFICACES. L'ENJEU EST DE RENDRE LA PRODUCTION PLUS AGILE, ÉCONOMIQUE ET DURABLE.

Grégorio Ameyugo, Chef du département Intelligence ambiante et systèmes interactifs au CEA-List

connecteurs...). Des indicateurs de performance ont été définis pour évaluer les performances du système, dans un but d'amélioration continue. Ce projet d'envergure se poursuivra ces prochaines années avec pour double ambition d'améliorer les performances du système et d'intégrer progressivement de nouvelles fonctionnalités au Robot Compagnon. Il sera doté dès 2021 de deux bras, pour travailler plus vite, et pourra s'adapter à des situations imprévues.





### STRUCTURATION D'UN SUBSTRAT PLANAIRE PAR LASER FEMTOSECONDE

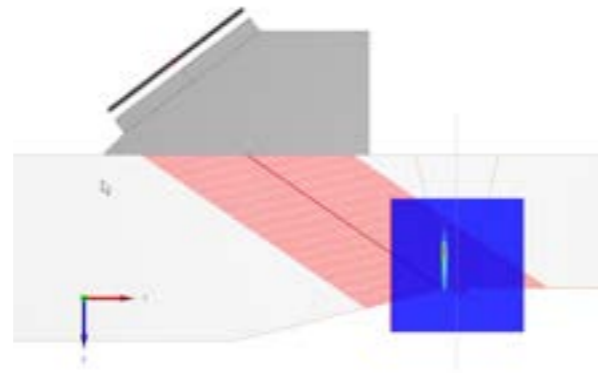
Une structure périodique de type réseau de Bragg a été gravée par laser femtoseconde au sein d'un guide en  $\text{SiO}_N$  réalisé en surface d'un substrat planaire en  $\text{SiO}_2$ . Ce procédé d'écriture directe par laser femtoseconde s'affranchit de toute propriété intrinsèque de photosensibilité et offre une grande souplesse sur la localisation et le type des structurations réalisables au sein de substrats planaires tels que des puces photoniques. Cette démonstration permettra à terme de développer des capteurs ultrasensibles utilisables pour la détection photo-acoustique de traces de gaz. C'est également le début d'un nouveau champ d'investigation pour la fonctionnalisation des puces photoniques par l'inscription de guides d'ondes, de cavités résonantes, de réseaux de Bragg et autres composants optiques grâce à la plateforme FemtoBragg de microstructuration par laser femtoseconde du CEA-List.



### FABRICATION ADDITIVE : L'APPORT DE LA VIBROMÉTRIE LASER POUR LE MONITORING

Les processus de fabrication additive (FA) sont des méthodes de production avancées utilisées pour construire notamment des pièces métalliques de grande dimension. Afin d'en assurer le monitoring, le CEA-List a exploré l'apport de la vibrométrie laser dans le cadre du projet européen H2020 INTEGRADDE. Un vibromètre laser, piloté par une interface homme-machine, a été développé pour réaliser un contrôle qualité en ligne par émission acoustique sans contact. Le potentiel de l'instrument a été testé dans une machine FA d'IREPA LASER.

## UNE IMAGERIE ULTRASONORE ADAPTATIVE POUR LES MATÉRIAUX COMPLEXES



L'adéquation entre modèle de propagation des ondes et propagation dans le milieu physique est primordiale pour obtenir une imagerie de qualité. C'est notamment l'enjeu des contrôles non destructifs par ultrasons, où la fiabilité des images échographiques nécessite une connaissance optimale des propriétés du matériau au moment de l'inspection. Or, dans le cas de contrôles sur site, par exemple lors de l'inspection d'assemblages soudés dans les circuits primaires et secondaires des installations nucléaires, particulièrement complexes, ces informations ne sont pas disponibles. Dans le cadre du projet européen H2020 ADVISE, le CEA-List a développé des méthodes d'optimisation pour corriger les images TFM (Total Focusing Method) dans des soudures nucléaires fortement anisotropes. Celles-ci ont été évaluées expérimentalement sur des échantillons et validées statistiquement. Elles ont permis de produire des images dans des soudures complexes avec un excellent contraste, tout en minimisant les erreurs de positionnement des défauts.

### CORTEX : UNE SUITE LOGICIELLE POUR LE CONTRÔLE TEMPS RÉEL DE ROBOTS

Afin de faciliter et accélérer le développement des contrôleurs robotiques, les chercheurs du CEA-List ont développé la solution logicielle C++ CORTEX (Component Oriented Real-Time EXecution engine). Elle se compose d'un framework temps-réel et modulaire, d'un ensemble de ressources (composants robotiques...) et de différents outils (modélisation et génération de code...). Après l'implémentation d'une première version du framework en 2020, le logiciel est en cours de mise au point sur deux contrôleurs robotiques industriels, en partenariat avec ORANO et Cybernetix (filiale de Technip Energies).



## SIMULATION INTERACTIVE : XDE DANS LE STORE UNITY3D

Le CEA-List développe et améliore sa plateforme de simulation multi-physique interactive (XDE) depuis 20 ans. Celle-ci met en jeu un ou plusieurs intervenants humains, réels, en exploitant les technologies de Réalité étendue (eXtended Reality). Le List accompagne ainsi les acteurs industriels dans leur transformation numérique avec des technologies de simulation adaptées à leurs cas d'usages. Pour favoriser son adoption la plus large, l'environnement XDE est accessible dans le store de la plateforme mondiale Unity3D. Les technologies de XDE sont également intégrées à l'offre XR Suite de l'entreprise Light & Shadows, partenaire du CEA-List. Une nouvelle application, XR Point Cloud, basée sur XDE, est venue enrichir cette offre en 2020. Elle permet aux industriels de visualiser et d'interagir en réalité étendue avec les nuages de points issus des scans de leurs environnements.

### UN PREMIER MODULE DÉDIÉ AU SHM DANS CIVA

La nouvelle version de CIVA, la plateforme logicielle de contrôle non destructif du CEA-List, intègre désormais un module spécifique au contrôle de santé intégré (ou SHM pour Structural Health Monitoring). Celui-ci permet la surveillance de structures (fuselage d'avion, pipelines, etc.) par ondes élastiques. « L'intégration à CIVA est un vecteur de dissémination en externe, vers des laboratoires et des industriels », explique Olivier Mesnil, Ingénieur-chercheur. De quoi permettre la démonstration de performance de la technologie. Les utilisateurs peuvent également optimiser leur système SHM, par exemple en déterminant la position optimale des capteurs pour contrôler leur structure. La commercialisation sera assurée par la société Extende.

# Cybersécurité & sécurité

La transition numérique s'accompagne d'une augmentation du risque « cyber ». Assurer la sécurité des systèmes et des données est donc un enjeu stratégique pour les entreprises. C'est aussi l'objet de nombreux projets de recherche au CEA-List.



## PRÉVENTION CONTRE UN NOUVEAU RISQUE CYBER : LES ATTAQUES TEMPORELLES

Ce sont des cyberattaques de plus en plus répandues. Les attaques temporelles représentent une menace croissante pour les logiciels cryptographiques, utilisés pour sécuriser nos communications Internet ou protéger nos données.

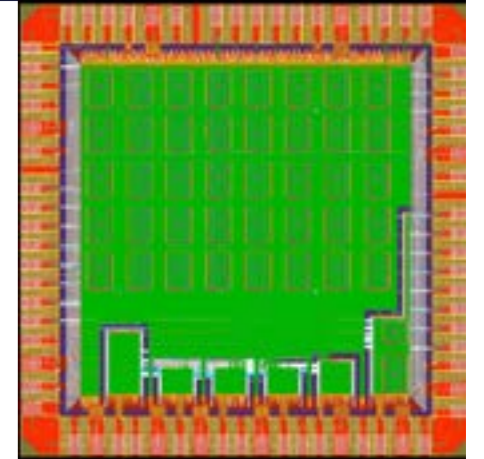
Elles exploitent le temps que met un programme à répondre à une requête, dans le but de pirater des données sensibles. Il est toutefois possible de les contrer en recourant à une technique de programmation nommée *constant time*, qui fait en sorte que le temps de réponse ne dépende pas de la requête. « Cette technique est difficile à réaliser, d'où l'importance de s'assurer qu'un programme donné respecte bien le constant time », indique Sébastien Bardin, Ingénieur-

chercheur et expert senior au CEA-List. Le CEA-List a ainsi développé un outil capable d'analyser automatiquement un programme exécutable, et de déterminer s'il est conforme ou non à la contrainte *constant time*. Intégré à la plateforme d'analyse de programmes exécutables BINSEC, ce module de prévention baptisé REL peut évaluer si les clés secrètes d'un logiciel cryptographique sont bien protégées des attaques temporelles. Développé en partenariat avec Inria, il a été testé avec succès sur 338 logiciels cryptographiques. Des analyses sur des programmes réels qui ont notamment permis de détecter des bugs sur des programmes pourtant certifiés.

Ces détections ont eu lieu au niveau du code source, écrit par le programmeur, et non du code exécutable, traduit dans le langage machine. Ces recherches ont bénéficié des avancées réalisées en 2020 dans la maîtrise des méthodes formelles, qui sont au cœur de cette analyse de programme automatique. Les résultats obtenus par les chercheurs ont été publiés lors de la conférence internationale IEEE Symposium on Security & Privacy 2020, la plus prestigieuse dans le domaine de la sécurité. Les recherches sur les méthodes d'analyse de code se poursuivent en vue de les étendre à la prévention d'autres types d'attaques à la frontière entre logiciel et matériel.

## PERFORMANCE DE LA TECHNOLOGIE FDSOI POUR LES CIRCUITS DE SÉCURITÉ

La technologie GF22 FDSOI (Fully Depleted Silicon On Insulator) est une technologie extrêmement prometteuse pour les circuits électroniques de demain. Alors que les circuits de sécurité sont jusqu'alors « fondus » en technologie bulk, il est important de déterminer la performance de cette nouvelle technologie pour sécuriser des composants critiques. Dans cet objectif, le CEA a fabriqué deux circuits de test : le premier intègre des briques de sécurité, le second est une SRAM à effacement rapide. Les phases de test et de caractérisation du niveau de sécurité de cette technologie viennent de débuter en laboratoire. Les résultats seront connus courant 2021.



## « AI VS WILD » : DE L'AVANCÉE SCIENTIFIQUE À LA DÉMONSTRATION TECHNOLOGIQUE

Le développement de l'intelligence artificielle (IA) va de pair avec l'émergence de nouveaux risques et de nouvelles techniques d'attaque. Celles-ci exploitent les vulnérabilités des systèmes d'apprentissage profond pour en fausser les décisions. À terme, c'est la fiabilité des modèles de reconnaissance de sons et d'images qui pourrait être prise en défaut. Face à ces menaces, le CEA-List a exploré les théories de fonctionnement des réseaux neuronaux pour faire émerger des technologies de défense capables de protéger les IA contre ces risques émergents. Une thèse, menée par Rafaël Pinot en collaboration avec l'Université Paris-Dauphine, a montré que l'introduction de processus aléatoires dans les réseaux de neurones permettait de se prémunir contre les attaques malignes sur ces derniers. Ces recherches ont fait l'objet d'un article dans la prestigieuse conférence NeurIPS, dédiée à l'intelligence artificielle. L'année 2020 a été l'occasion pour le CEA-List de valoriser les résultats de ses recherches auprès d'un public plus large. Un démonstrateur a été développé pour illustrer l'approche portée par le CEA-List et présenté lors du salon CES 2020 (Consumer Electronics Show) de Las Vegas. S'appuyant sur l'exemple d'un véhicule autonome soumis à des attaques adversariales, il a permis d'expliquer les atouts de la technologie de défense proposée. Il a suscité un fort intérêt auprès de plusieurs entreprises.



### PREMIÈRE PREUVE DE CONCEPT D'UN NOYAU LOGICIEL SÉCURISÉ

Les systèmes d'exploitation (OS) de l'Internet des objets (IoT) présentent de nombreuses vulnérabilités qui les exposent à des attaques logicielles. Le CEA-List mène des recherches visant à repenser la façon de construire ces OS pour en faire des logiciels de confiance, à faible coût et adaptés aux besoins applicatifs. Un *framework* de génération automatique d'OS baptisé XanthOS est en cours de développement. Ce *framework* doit permettre d'obtenir un noyau minimaliste, intégrant uniquement les fonctionnalités nécessaires pour répondre aux besoins applicatifs. Son langage de programmation, RUST, est sûr : il est utilisé pour supprimer les vulnérabilités liées à la gestion mémoire et celles liées aux accès concurrents. Une première preuve de concept a permis de réaliser, sur l'émulateur QEMU, un noyau pour l'architecture ARMv8 AARCH64, avec un taux de 98 % de code "sûr", alors qu'un noyau en C/C++ ne présente, lui, aucune protection. Cette implémentation démontre la faisabilité à coût raisonnable d'un noyau avec un haut niveau d'assurance sécurité.



## AIDE À LA DÉCISION : LES AVANCÉES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EXPRESSIF®

Identifier rapidement les risques potentiels en situation de crise civile, afin d'apporter un support à la prise de décision. Tel est l'objectif des travaux menés par le CEA-List avec l'entreprise CGX, en lien avec le CEA Tech Occitanie, autour d'ExpressIF®, une intelligence artificielle reproduisant le raisonnement humain. Les recherches ont porté sur la gestion des interventions des sapeurs-pompiers sur les feux de forêt. Objectif : « déterminer si les objets géolocalisés (campings...) dans des bases de données sont potentiellement en danger ou non », explique Laurence Boudet, Ingénieur-chercheur. Outre le raisonnement spatial, ExpressIF® permet le suivi temporel des températures et la levée d'alerte lorsqu'elle est possible. Une interface homme-machine été développée dans le cadre de ces recherches. L'année 2020 a aussi été l'occasion pour le CEA-List de travailler, en partenariat avec CentraleSupélec, membre de l'Université Paris-Saclay, sur les capacités d'apprentissage d'ExpressIF®. Plus précisément sur l'apprentissage dit « de relation », qui exploite les relations spatiales pour identifier des objets sans erreur à partir de quelques exemples seulement (moins de 10). Son principe : se saisir d'un objet se décomposant en sous-objets (une image par exemple) et « utiliser les informations spatiales relatives entre ces sous-objets pour prendre des décisions », indique Jean-Philippe Poli, Ingénieur-chercheur.

# LES STARTUPS DU CEA-LIST

Les recherches du CEA-List ont donné naissance, en 2020, à trois nouvelles startups. Elles jouent un rôle stratégique pour faciliter le transfert technologique du monde de la recherche vers celui de l'entreprise.



### AI HERD

AI Herd a été créée en avril 2020 par une association de vétérinaires, programmeurs en IA et spécialistes de gestion. Son objectif : développer une solution d'analyse vidéo en temps réel des comportements des bovins via des algorithmes d'intelligence artificielle. Les éleveurs pourront ainsi télésurveiller la santé des animaux et limiter les risques liés, par exemple, à la détection tardive de maladies. Un enjeu pour le secteur de l'élevage alors que l'agrandissement des exploitations ainsi que l'automatisation et la robotisation des étables et de la traite entraînent une baisse importante de la surveillance humaine. Le CEA travaille au développement de briques technologiques et met notamment à disposition de la startup un portefeuille de 5 brevets.



### ALKALEE

Alkalee a été créée pour accélérer le déploiement d'une nouvelle génération d'architecture électrique et électronique, ouverte et modulaire, pour les futurs véhicules intelligents, connectés et autonomes. Née d'un projet d'innovation entre Renault et le CEA, la startup exploite des techniques formelles innovantes pour mettre en équations l'intégralité des fonctions de la voiture. Grâce à un outil de modélisation et du logiciel embarqué, Alkalee fournit une solution logicielle garantissant une intégration sûre des prestations sur un calculateur centralisé et ce, à tout moment dans le cycle de vie.

### KENTYOU

Fondée en avril 2020 après sept années de R&D au sein du CEA, Kentyou propose des solutions de jumeau numérique basées sur des briques technologiques en open source. Celles-ci permettent de recueillir, d'intégrer et d'analyser des données urbaines (objets connectés, plateformes open data, applications participatives, etc.) et de créer facilement des applications innovantes. La startup cible le marché des collectivités de taille moyenne, jugées plus agiles dans le déploiement de services innovants pour leurs habitants. La solution a été déjà déployée et validée dans une dizaine de métropoles européennes et asiatiques.



## 25 STARTUPS CRÉÉES ENTRE 2003 ET 2020

- **INDUSTRIE DU FUTUR** : Arcure (vision intelligente embarquée pour la détection de piétons), Bag-Era (management de systèmes hétérogènes connectés), Bespoon (localisation indoor de précision centimétrique pour l'usine 4.0), Creaform (ex-Acti-CM) (ingénierie et technologies de mesure 3D pour l'industrie), Diota (solutions de réalité augmentée pour l'industrie), Extende (simulation de contrôles non destructifs), Haption (systèmes à retour d'effort professionnels), Isybot (robotique collaborative), M2M (équipements de contrôle non destructif par ultrasons), une marque d'Eddyfi Technologies, RB3D (cobotique et exosquelettes pour l'industrie), Tridimeo (vision industrielle 3D multispectrale et ultra-rapide), Win MS (diagnostic de réseaux de câbles par réflectométrie) ;
- **AGRI-AGROALIMENTAIRE** : Connecting Food (plateforme de traçabilité alimentaire basée sur la blockchain) ;
- **NUMÉRIQUE** : Antinno (gestion électronique de documents et de connaissances), Invensense (ex-Movea) (solutions de détection à valeur ajoutée : objets connectés, drones...), HRV (réalité virtuelle pour la formation en santé et l'ergonomie au travail), Kalray (circuits programmables multiprocesseurs), Light & Shadows (solutions personnalisées de réalité virtuelle et augmentée) ; WiseBIM (génération automatique de maquettes numériques BIM),
- **MOBILITÉ** : Krono-Safe (système d'exploitation pour l'embarqué temps-réel critique) ;
- **SPORT-LOISIRS** : Sport Quantum (cibles de tir électroniques interactives et connectées) ;
- **CYBERSÉCURITÉ** : TrustInSoft (prévention des cyberattaques par analyse du code source).

# Mobilité

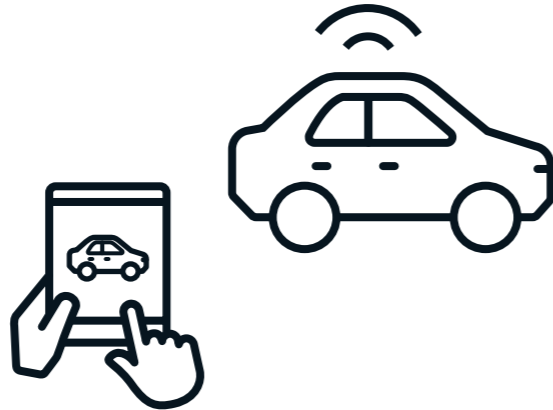
Les systèmes numériques intelligents seront au cœur de la mobilité du futur : jumeau numérique de systèmes d'aiguillage, monitoring de rails et convoyage de véhicules en sont quelques exemples.

SacHems



## SACHEMS : LANCEMENT D'UNE PLATEFORME POUR DÉVELOPPER LES MÉTHODES SHM

Une nouvelle plateforme, baptisée SACHEMS, a été lancée en 2020 pour favoriser la recherche et l'innovation autour du contrôle santé des structures, ou Structural Health Monitoring (SHM), en appui de la structuration de la filière SHM. Pilotée par le CEA-List, la plateforme s'appuie sur un consortium rassemblant des laboratoires académiques développant des briques technologiques sur la thématique SHM et des industriels - utilisateurs finaux - proposant des cas d'usages. Les premiers équipements mutualisés ont été achetés et installés sur le site du CEA Saclay.



## VÉHICULES AUTONOMES : UN SYSTÈME DE COMMUNICATION OPTIMAL POUR LE PLATOONING

Le déplacement en convoi de véhicules autonomes (platooning) suivant un véhicule piloté par un humain pourrait être prochainement opérationnel. Les véhicules doivent pouvoir échanger des informations entre eux à tout moment, pour reproduire les mouvements du véhicule qui les précède. Mais le convoi doit également communiquer avec les infrastructures de signalisation urbaine pour circuler en toute sécurité. Un tel système de communication a été mis au point par le CEA-List dans le cadre du projet européen (H2020) AUTOPILOT. Les chercheurs ont conçu une architecture multi-interfaces pour assurer la communication entre les véhicules, une solution logicielle permettant de configurer automatiquement le réseau de communication, et un système de communication entre le convoi et les feux de circulation. La solution du CEA-List présente un autre avantage par rapport aux solutions existantes : n'utilisant ni caméra ni radar, les informations de localisation calculées à partir des positions GPS sont échangées par IP, ce qui permet de réduire la distance entre les véhicules à environ 2,5 mètres. Des essais pilotes menés à Versailles ont permis de démontrer la pertinence et l'efficacité de la solution.

## MODÉLISATION ET VALIDATION DES POSTES D'AIGUILLAGE DU FUTUR

Il s'agit d'une avancée majeure dans la numérisation des systèmes ferroviaires. Après avoir remporté l'appel d'offres de SNCF Réseau, le CEA-List et son partenaire Systemel lui ont livré le module de modélisation de l'Atelier Métier de Signalisation (AMS). Pour la première fois, SNCF Réseau va disposer d'un outil de conception logicielle dédié à la spécification et à la validation formelle des postes d'aiguillage de nouvelle génération. « SNCF Réseau peut désormais spécifier la logique d'enclenchement d'un poste dans l'outil, spécifier son paramétrage et l'instancier »,

explique Jérémie Tatibouët, Ingénieur-chercheur. Les prochaines phases du projet sont déjà enclenchées : elles visent à développer le module de vérification formelle des propriétés de sécurité, de simulation des scénarios d'exploitation et de conception de plans de voies. « Cette nouvelle étape du projet permettra à SNCF Réseau de s'appuyer sur des outils très puissants d'animation et de vérification formelle pour s'assurer exhaustivement et à moindre frais du haut niveau de sécurité de ses postes informatisés » précise François Bustany, Président de Systemel.



L'ATELIER MÉTIER SIGNALISATION CRISTALLISE L'AMBITION POUR SNCF RÉSEAU DE FÉDÉRER LES ACTEURS MAJEURS DE LA RECHERCHE ET LES CAPITAINES D'INDUSTRIE AUTOUR DE L'INNOVATION EN INGÉNIERIE. NOTRE TRAVAIL PORTE SUR LA PERFORMANCE ET LA SÉCURITÉ DES SYSTÈMES FERROVIAIRES.

Thibault Lemaire, Chef de projet AMS SNCF Réseau

## MONITORING DE RAILS : VERS L'INDUSTRIALISATION D'UN SYSTÈME SHM SANS FIL PAR ALSTOM

En partenariat avec Alstom, les chercheurs du CEA-List ont conçu en 2019 un système de monitoring innovant pour détecter les défauts dans les rails, basé sur l'utilisation d'ondes élastiques guidées. Le prototype de contrôle santé de structures - ou Structural Health Monitoring (SHM) - testé sur le site d'essais ferroviaires de Bar-Le-Duc, a permis de détecter des ruptures de rail à 1 km de distance sans liaison filaire. Convaincu de l'intérêt de la solution, Alstom a lancé son industrialisation dès 2020. « L'année a été consacrée au transfert de notre technologie, explique Bastien Chapuis, Ingénieur-chercheur. Nous avons transmis nos connaissances sur le système et son fonctionnement, afin que les équipes d'Alstom puissent se l'approprier et soient en mesure de le fabriquer et, enfin, de le vendre ». Le CEA-List poursuit le développement du système en y intégrant la détection de défauts de petites tailles (amorces de casse), ouvrant la voie à la maintenance prédictive des rails.



NOTRE PROCHE COLLABORATION AVEC LE CEA-LIST NOUS PERMET AUJOURD'HUI D'ENVISAGER LE DÉPLOIEMENT COMMERCIAL DE LA SOLUTION RAIL SHM SUR DES LIGNES CIRCULÉES. LES PERSPECTIVES DE DÉTECTION D'AMORCES DE CASSE SONT PARTICULIÈREMENT SÉDUISANTES POUR NOS CLIENTS QUI NOUS SOLLICITENT ACTIVEMENT À CE PROPOS.

Maxime Darbois, Responsable Innovation Alstom Infrastructure

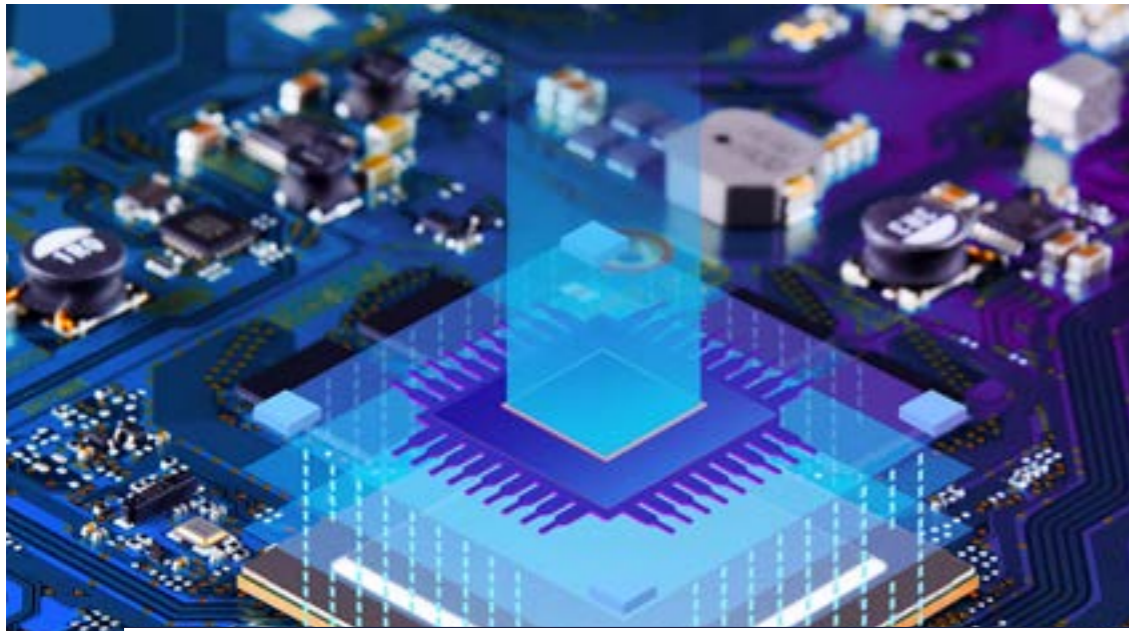
## RÉFLECTOMÉTRIE EMBARQUÉE : DÉTECTER DES DÉFAUTS DE FAIBLES SIGNATURES

Les câbles électriques assurent la transmission de données et le transport d'énergie dans de nombreux secteurs comme l'automobile, l'aéronautique ou encore le ferroviaire. Parvenir à détecter des défauts de plus en plus ténus dans des réseaux filaires est donc un enjeu majeur pour la fiabilité et la sécurité de ces systèmes potentiellement critiques. C'est l'objectif des recherches menées en 2020 par le CEA-List en partenariat avec la société Nicomatic, spécialisée dans les connecteurs haute performance. Une nouvelle technologie a été développée pour compenser le phénomène d'auto-aveuglement des capteurs. Un phénomène inhérent à la réflectométrie filaire embarquée et qui porte préjudice à la détection des défauts de très faibles signatures. La technologie a été brevetée et intégrée avec succès sur une nouvelle carte de réflectométrie « Ariane V3 ».



# Numérique

De nombreuses technologies-clés, adaptables et déclinables selon les besoins des industriels, sont développées à partir des expertises numériques de l'Institut. Les pages suivantes montrent les résultats de nos recherches en IA : validation formelle de réseaux de neurones, dictée vocale de rapports et annotation d'images, ou encore architectures haute performance, coût et consommation d'énergie maîtrisée pour l'IA embarquée.



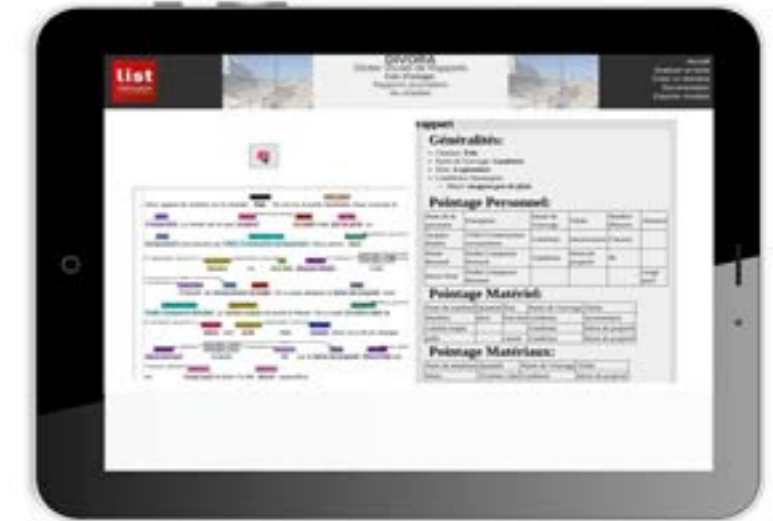
## HPC : DÉPLOIEMENT DE SESAM POUR ACCÉLÉRER LE DÉVELOPPEMENT DU PROCESSEUR EPI

Le projet H2020 EPI (European Processor Initiative) poursuit une ambition : renforcer l'autonomie européenne en matière de calcul haute performance. Acteur majeur de ce projet, le CEA développe le simulateur SESAM/VPSim, outil de référence pour la modélisation du processeur HPC européen. Ce modèle est utilisé par les partenaires pour la vérification, l'exploration d'architecture et le développement logiciel. Les travaux du CEA-List visent plus spécifiquement à accélérer la simulation du prototype virtuel de l'architecture de l'EPI sans sacrifier sa précision. La solution brevetée proposée par les chercheurs permet d'exploiter au mieux les performances

des simulateurs de processeurs rapides (QEMU). Son atout est de permettre l'instrumentation efficace des accès mémoires pour évaluer de façon asynchrone et parallèle leur impact sur la performance du système modélisé. La technologie offre des résultats significatifs : 154 % d'augmentation de la performance par rapport à une solution séquentielle, en termes de millions d'instructions simulées par seconde (MIPS). Des gains de performances complémentaires sont attendus grâce à la parallélisation des modèles de processeurs. De quoi accélérer l'exploration architecturale et améliorer significativement la vitesse de décision et donc la qualité de l'architecture du processeur européen.

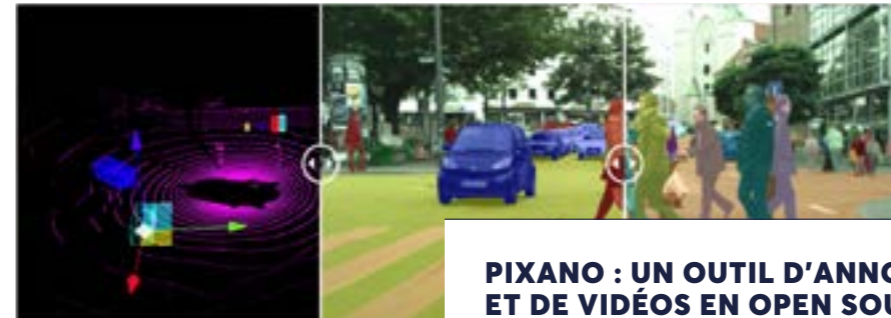


**FACTORY-AI : UN CALCULATEUR TRÈS SOLlicitÉ !** DÉDIÉ AUX CALCULS EN INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, LE CALCULATEUR FACTORY-AI TOTALISAIT, FIN 2020, PLUS DE 110 COMPTES UTILISATEURS AYANT LANCÉ PLUS DE 73 000 JOBS ET OCCUPANT 130 TO D'ESPACE DISQUE. SES CAPACITÉS DE CALCUL SERONT ENCORE ACCRUES EN 2021.



## UN DÉMONSTRATEUR DE GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DE RAPPORTS PAR DICTÉE VOCALE

Au sein des entreprises, la rédaction de rapports joue un rôle important de capitalisation et de transmission des connaissances. Or ces rapports sont chronophages, peuvent être incomplets ou mal rédigés. Dans le cadre du projet Divora (FactoryLab), le CEA-List a utilisé ses compétences en analyse sémantique et interprétation automatique de la parole pour simplifier et accélérer le processus de rédaction et de structuration des rapports produits dans un contexte industriel. Le projet permet aux opérateurs de structurer leurs rapports vocaux sur le terrain grâce à un dispositif nomade, évitant ainsi toute perte d'informations : Divora génère automatiquement un rapport formel. Un prototype de génération de rapports structurés a été mis en œuvre, basé sur deux cas d'usages : la production d'un rapport d'inspection d'un chariot élévateur pour Bureau Veritas et celle d'un rapport pour le suivi de chantier pour Vinci Construction.



## PIXANO : UN OUTIL D'ANNOTATION D'IMAGES ET DE VIDÉOS EN OPEN SOURCE

Le développement de l'intelligence artificielle (IA) appliquée à la vision par ordinateur est conditionné par l'apprentissage sur de grands volumes de données. Or, les images contenues dans les bases de données peuvent être annotées de façon qualitativement très variable. Le CEA-List a récemment mis à disposition son outil PIXANO,

une solution web open source permettant l'annotation automatique et haute précision d'images et de vidéos. De quoi faciliter l'entraînement des algorithmes par apprentissage et leur évaluation. Combinant rapidité des systèmes artificiels et validation de l'humain, PIXANO est accessible à tous les acteurs académiques et industriels de la communauté IA.



### MESURES DU PREMIER CIRCUIT IMPACT

Le transfert de données entre unité de calcul et mémoire est devenu aujourd'hui la principale source de consommation d'énergie dans les systèmes de calcul à haute performance. C'est également le principal frein à l'augmentation des performances pour permettre d'adresser efficacement les applications d'IA embarquée (A-IoT). Pour faire face à ces enjeux, le CEA a développé un circuit de calcul en mémoire (Computational-SRAM, mémoire de traitement vectoriel) et en a évalué les performances. Parmi les résultats significatifs, publiés dans *IEEE Solid-State Circuit Letters*, l'efficacité énergétique de calcul par unité de surface atteint jusqu'à 35,6 TOPS/W/mm<sup>2</sup> (opérations sur 8 bits), soit une multiplication par 2,3 par rapport à l'état de l'art.

### LANCEMENT D'UN LABORATOIRE COMMUN CEA-LIST – DOLPHIN DESIGN

Un nouveau laboratoire commun a été lancé par le CEA-List et Dolphin Design, expert en développement d'IP et de System On Chip modulaires et efficaces en énergie. Les deux partenaires vont pouvoir développer ensemble une plateforme de calcul hautement adaptable à destination des marchés de l'électronique embarquée. Elle intégrera des fonctionnalités d'intelligence artificielle grâce à l'accélérateur matériel PNeuro du CEA-List et facilitera la programmation grâce à l'environnement de simulation SESAM et à l'outil de génération de code N2D2. « La première année du laboratoire a été avant tout consacrée à des travaux sur la partie programmation », explique Benoit Tain, Ingénieur-chercheur. En 2021, ce partenariat se matérialisera par la réalisation d'un circuit démonstrateur et un flot de génération logiciel. Ce dernier permettra aux clients de Dolphin Design de développer des applicatifs performants et frugaux.



### VERS LA VALIDATION FORMELLE DE RÉSEAUX DE NEURONES

La validation formelle des réseaux de neurones représente un enjeu international considérable, en particulier pour développer la confiance dans les systèmes numériques intelligents. Les chercheurs du CEA-List mettent leur expertise en méthodes formelles et analyse de logiciels critiques au service de cet enjeu. Dans le cas de la reconnaissance d'images, leurs recherches portent sur deux axes essentiels : comment obtenir une spécification formelle des objets à reconnaître et des propriétés à prouver, et comment démontrer que le réseau de neurones est fiable et robuste ? L'idée novatrice des chercheurs a été de s'appuyer sur les générateurs d'images, ou simulateurs, qui servent à « entraîner » les réseaux de neurones, et de les utiliser comme spécifications. Ces travaux, réalisés avec Inria, ont été publiés à l'ECAI20, conférence majeure en intelligence artificielle. Une collaboration avec Technip Energies a par ailleurs été menée en 2020. « L'entreprise utilise des réseaux de neurones pour détecter d'éventuels désordres dans les lignes d'ancrage de plateformes pétrolières flottantes », explique Zakaria Chihani, Ingénieur-chercheur. Grâce à l'innovation du CEA-List, Technip Energies a pu valider les décisions des réseaux de neurones.



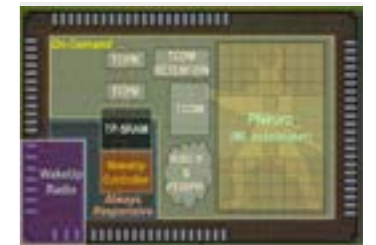
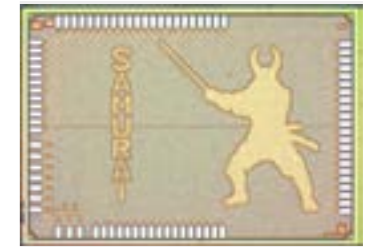
NOUS SOMMES TRÈS HEUREUX DU TRAVAIL DE COLLABORATION EFFECTUÉ SUR NOS DÉVELOPPEMENTS DE RÉSEAUX DE NEURONES POUR LA DÉTECTION DE LA DÉFAILLANCE D'UNE LIGNE D'AMARRAGE SUR UNE PLATE-FORME OFFSHORE FLOTTANTE. L'EXPERTISE ET LE TRAVAIL DE VALIDATION DU CEA ONT CONFIRMÉ QUE NOS MODÈLES SONT SUR LA BONNE VOIE ET SONT À LA HAUTEUR DU DÉFI QUE NOUS NOUS SOMMES LANCÉ.

DJONI SIDARTA, Chief Technologist chez Technip Energies



### STREAMER RELÈVE LE DÉFI D'UNE IA « ÉVOLUTIVE »

Face à des flux de données de plus en plus importants, l'automatisation de leur traitement par des méthodes d'intelligence artificielle est devenu un enjeu essentiel. Le défi posé est non seulement celui de la scalabilité mais aussi celui de l'évolutivité des algorithmes d'apprentissage automatique. C'est dans ce contexte que s'inscrit le développement de l'environnement de conception et d'évaluation Streamer. Cette solution open source et multiplateforme (Linux, Windows, Mac OS) permet l'intégration d'algorithmes dans n'importe quel langage de programmation (Python, R, Java). Offrant un contrôle fin des algorithmes, une simplicité d'utilisation, une robustesse et des performances à l'état de l'art, Streamer affiche un positionnement unique, à l'interface entre le monde académique et les exigences des utilisateurs industriels. Streamer ouvre la voie à plusieurs projets en 2021 dans les domaines de la cybersécurité et de l'IA de confiance. Son développement se poursuit, notamment grâce au soutien de l'Institut DATAIA, dans le cadre du projet StreamOPS, en partenariat avec l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines et l'hôpital Foch. De nouvelles fonctionnalités seront prochainement ajoutées, comme le développement d'un superviseur d'algorithmes pour contrôler la phase d'apprentissage et de mise à jour.



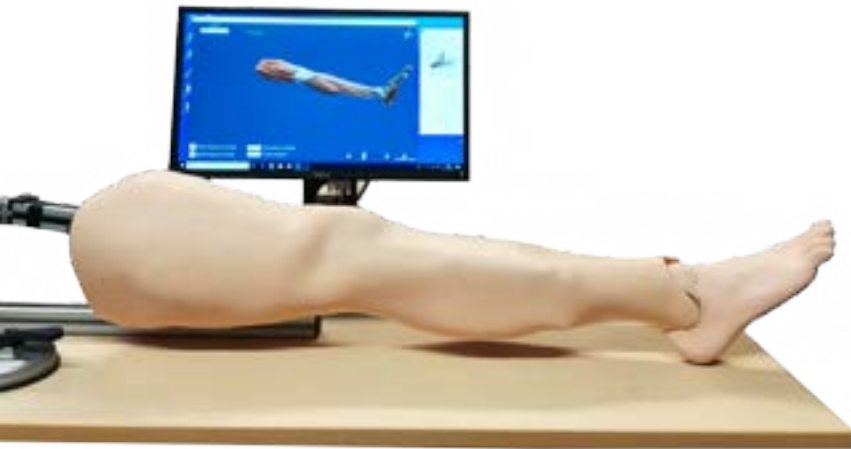
### IA DES OBJETS : PRÉSENTATION D'UN CIRCUIT PREUVE DE CONCEPT AU VLSI 2020

C'est une première mondiale. À l'occasion du Symposium international VLSI (Very Large Scale Integration technology and circuits) en juin 2020, les chercheurs du CEA-List ont présenté une innovation de rupture : le circuit SamurAI combinant un nœud basse consommation (IoT), un accélérateur d'intelligence artificielle à haute efficacité énergétique et un réveil ultra-rapide. Ce circuit ouvre la voie à un rapprochement entre l'acquisition des données et leur traitement, permettant une réduction de la consommation d'énergie et du temps de réponse tout en assurant la confidentialité des données.



# Santé & sports

Accompagner la transition vers la médecine du futur fait partie des missions du CEA. Une priorité qui s'incarne dans les applications des technologies génériques du CEA-List aux domaines de la santé, du bien-être et des loisirs, notamment sportifs.



## FORMATION AU GESTE MÉDICAL : LIVRAISON D'OUTILS D'ENTRAÎNEMENT AU CHU D'AMIENS-PICARDIE

**Ressentir les efforts en jeu pendant une intervention chirurgicale est déterminant pour la qualité de la formation des futurs médecins.**

C'est tout l'enjeu de la restitution haptique (du grec *haptein*, toucher) que de favoriser l'adoption des « bons » gestes grâce au réalisme de l'apprentissage. Dans cet objectif, le CEA-List a mis au point avec l'entreprise Anatoscope et l'Institut Faire Faces, deux outils interactifs de formation qui ont été livrés en 2020 au CHU d'Amiens-Picardie.

Le premier est un prototype de genou, restituant les sensations haptiques à l'auscultation en situation de rupture des ligaments croisés. La laxité de l'articulation est simulée de manière réaliste grâce à un « frein » à base de fluide magnéto-rhéologique. Via une interface visuelle, le futur praticien peut observer la jambe virtuelle sous différents angles et niveaux (peau/muscles/os).

Le second système est une articulation mandibulaire « qui permet de simuler la réduction d'une luxation », explique Sylvain Bouchigny, Ingénieur-chercheur au CEA-List. *C'est un geste complexe, difficile à réaliser s'il a été peu pratiqué.* Grâce à l'apprentissage sur ce système, les internes pourront réagir avec rapidité et précision.

Les deux outils sont aujourd'hui en phase d'évaluation par les chirurgiens du CHU d'Amiens-Picardie et de la Pitié-Salpêtrière à Paris, prélude à leur intégration au cœur des formations médicales.



### SIMULER L'ACTIVITÉ INDUITE DANS LES ACCÉLÉRATEURS MÉDICAUX

De nombreux accélérateurs médicaux arrivent en fin de vie dans les établissements de traitement de cancers. Une question se pose alors : quelles sont les pièces de ces équipements qui sont devenues radioactives, et à quel niveau ? Pour y répondre, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) a fait appel au CEA-List, qui a réalisé « une simulation complète et précise du fonctionnement d'un accélérateur basée sur des méthodes Monte-Carlo », explique Valentin Blideanu, Ingénieur-chercheur. Elle a permis de caractériser l'activité induite des différents composants, ce qui représente un appui précieux pour la gestion appropriée des déchets issus du démantèlement des accélérateurs médicaux.



## PARIS 2024 : LA TECHNOLOGIE AU SERVICE DE LA PERFORMANCE DES CHAMPIONS

Dans la perspective des Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024, deux appels à projets « Sport de très haute performance » ont été lancés par l'État pour stimuler les recherches en vue d'augmenter la performance des sportifs français. Le CEA-List contribue à trois des projets sélectionnés. « Dans chacun d'entre eux, notre contribution se concentre sur l'analyse vidéo exploitant notre savoir-faire en intelligence artificielle », explique Patrick Sayd, Responsable des activités IA pour la Vision.

Le premier projet, Fulgur, s'intéresse à la capture de la gestuelle des sprinters en compétition. Cette modélisation individualisée permet d'optimiser la technique de l'athlète pour une meilleure efficacité du geste et la réduction du risque de blessure. À travers le second projet, Team Sports, le CEA-List analyse les comportements des joueurs dans les sports collectifs, afin d'aider les entraîneurs à améliorer la dynamique de groupe. Enfin, dans Best-Tennis, l'analyse vidéo automatisée du jeu de leurs adversaires procurera aux joueurs français un avantage stratégique, en particulier sur la phase essentielle du service/retour.



## ECHOBRAIN : L'ÉCHOGRAPHIE TRANSCRÂNIENNE EN PERSPECTIVE

Au sein du projet européen EchoBrain, mené en collaboration avec l'institut CEA-Joliot, les outils d'imagerie développés par le CEA-List pour les applications de CND (contrôle non destructif) ont été adaptés à l'imagerie transcrânienne. Objectif : corriger les déformations du faisceau ultrasonore engendrées par la traversée de la paroi crânienne, à l'origine de la dégradation des images cérébrales. Une première preuve de faisabilité effectuée sur un crâne humain *ex-vivo* a montré qu'il était ainsi possible d'améliorer significativement la qualité de l'image échographique de cibles artificielles situées derrière le crâne.



## CLEAR : FACE À LA COVID-19, DEUX DISPOSITIFS DÉDIÉS À L'ASSISTANCE RESPIRATOIRE D'URGENCE

Face à la crise de la Covid-19, le CEA-List a lancé en mars 2020 le projet CLEAR (CEA-List Emergency Assistance for Respiration). Il a permis de concevoir deux dispositifs dédiés à l'assistance respiratoire d'urgence. Le premier est une solution de monitoring (CLEAR-M) permettant de rendre les respirateurs d'urgence existants compatibles avec les besoins des patients atteints de la Covid-19. Cette innovation qui a attiré l'attention de la société BA-Healthcare, qui en a lancé l'industrialisation. Le second dispositif est un respirateur d'urgence robotisé (CLEAR-R), haute performance et à bas coût, dont le dossier technique a été mis à disposition d'acteurs industriels pour répondre aux besoins de pays insuffisamment équipés en respirateurs d'urgence.

université  
PARIS-SACLAY



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

 [https://twitter.com/CEA\\_List](https://twitter.com/CEA_List)

 <https://www.linkedin.com/showcase/cealist/>