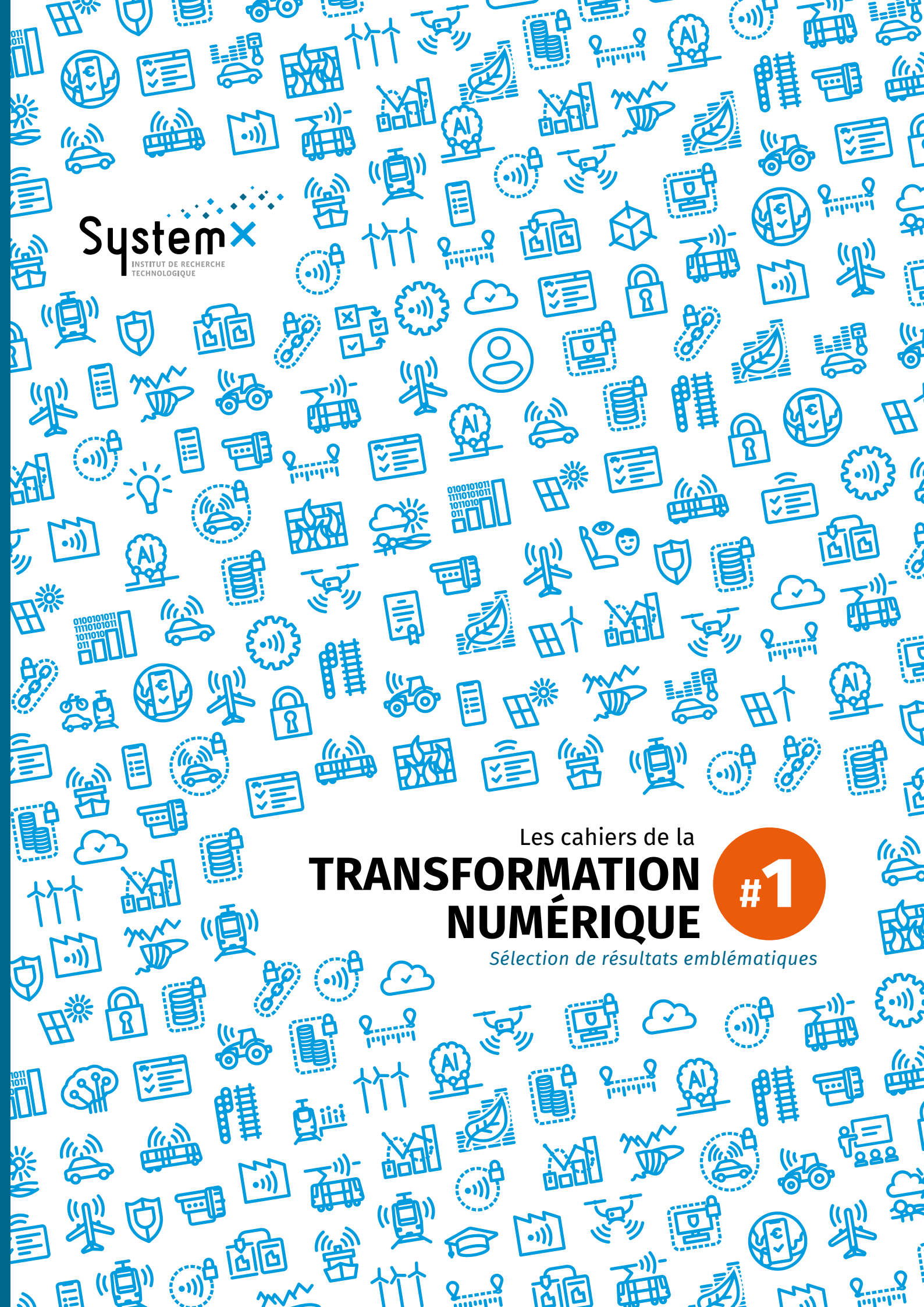


Les cahiers de la

TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

#1

Sélection de résultats emblématiques

Sommaire

2 **Editos**
- **Michel Morvan**
  Président, IRT SystemX
- **Paul Labrogère**
  Directeur Général, IRT SystemX

4 **Concevoir le monde numérique de demain**
- **Abdelkrim Doufene**
  Directeur Stratégie et Programmes, IRT SystemX
- **Bruno Foyer**
  Directeur Recherche et Technologies, IRT SystemX

6 Relever le défi de la validation du véhicule autonome

8 Contribuer aux évolutions du domaine de la conception de systèmes mécaniques

9 Accélérer l'analyse de risques par les modèles

10 Optimiser la cybersécurité des architectures de systèmes avec la plateforme CHESS

12 Répondre aux enjeux de sécurité et de « privacy » du véhicule connecté

13 Valider les systèmes de perception du train autonome

14 Développer de nouveaux usages et offres de services grâce à la technologie blockchain

16 Encourager la création et le développement d'entreprises innovantes

17 Prototyper les solutions de mobilité de demain

18 Améliorer la détection des paramètres biométriques des occupants d'un véhicule par le deep learning

19 Encapsuler le savoir humain dans les systèmes d'IA industriels

20 **Imaginer le monde numérique de demain**
- **Patrice Aknin**
  Directeur Scientifique, IRT SystemX

22 Imaginer la mobilité urbaine de demain : la chaire Anthropolis

24 Mutualiser les compétences et lever les verrous technologiques de la blockchain : le collectif BART

25 Une offre unique d'ingénierie de formation

26 **Accompagner des parcours remarquables**

27 Un cadre propice à la formation doctorale

28 Des parcours remarquables

31 SystemX, un institut de référence pour l'analyse, la modélisation, la simulation et le management de la décision

> ***Nos équipes sont animées chaque jour par notre ambition : imaginer et concevoir le monde numérique de demain.***

Michel Morvan
Président,
IRT SystemX
@MichelMorvan

C'est avec beaucoup de fierté que je vous présente la première édition des Cahiers de la transformation numérique de l'Institut de recherche technologique (IRT) SystemX. Vous y découvrirez une sélection de nos résultats et impacts emblématiques, obtenus en collaboration avec nos partenaires industriels et académiques. Tous concourent à un monde numérique plus sûr, plus durable et plus performant.

Ce travail de mémoire me semblait essentiel à l'aune des nouveaux challenges qui se présentent devant nous. En effet, plus que jamais, la transformation numérique de nos sociétés et de nos entreprises va et devra s'accélérer. La digitalisation massive est essentielle pour l'industrie française si elle souhaite tenir une place aux niveaux européen et mondial. Véritable levier de croissance et de compétitivité, elle s'accompagne d'un besoin considérable en technologies numériques à haute valeur ajoutée.

Je suis convaincu que la France peut devenir la « championne mondiale » de la transformation numérique de l'industrie, et que l'IRT SystemX en sera le fer de lance. Nos équipes sont animées chaque jour par notre ambition : imaginer et concevoir le monde numérique de demain. Grâce à la mutualisation de leurs talents et de ceux de nos partenaires (grands groupes, PME, start-up, laboratoires de recherche), notre institut a consolidé une masse critique de compétences dans les domaines de l'analyse, de la modélisation, de la simulation et de l'aide à la décision appliqués aux systèmes complexes, et s'est constitué un socle technologique d'exception, hybridant des technologies de haut niveau.

Le numérique est à la croisée de nombreux domaines, si bien que nos expertises, qui ont fait leurs preuves dans ceux de la mobilité et du transport autonome, de l'industrie du futur, de la défense et de la sécurité, et de l'environnement et du développement durable, peuvent en réalité bénéficier plus largement à de nombreux secteurs. Nous serons donc amenés à élargir nos domaines d'application selon l'ampleur de cette transition numérique pour la société. Je pense par exemple à la santé, l'éducation, l'agriculture ou encore la chaîne alimentaire. Il ne fait aucun doute pour moi que, dans les années à venir, SystemX jouera un rôle essentiel d'accompagnateur de l'industrie dans ce mouvement en facilitant et en accélérant le transfert de la science vers la technologie.

Au fil des pages qui suivent, vous découvrirez les impacts que nous avons choisi de vous présenter, au travers de témoignages de nos équipes et de nos partenaires académiques et industriels. Je tiens d'ailleurs à saluer personnellement le travail réalisé par les femmes et les hommes qui font SystemX, et qui sont les premiers acteurs de ces réussites.

> ***L'IRT SystemX trouve sa force dans son modèle : nos projets de R&D impliquent plusieurs filières et regroupent plusieurs disciplines scientifiques et technologiques.***

Paul Labrogère
Directeur Général,
IRT SystemX
@PaulLabrogere

Je suis heureux de vous partager le premier Cahier de la transformation numérique de l'institut qui met en lumière certaines de nos plus belles réalisations depuis 2012, illustrations concrètes de notre impact sur l'industrie, les services et les territoires.

L'IRT SystemX trouve sa force dans son modèle : nos projets de R&D impliquent plusieurs filières et regroupent plusieurs disciplines scientifiques et technologiques. Nous favorisons ainsi la fertilisation croisée des savoir-faire et adressons les cas d'usage de l'industrie en apportant une vision « système ». Ce positionnement est le gage de notre capacité à accompagner de grandes industries, telles que l'aéronautique, l'automobile ou encore la défense, dans leur transformation numérique. Nous sommes à l'écoute du marché et des besoins de l'industrie et nous nous appuyons sur nos compétences dans huit domaines scientifiques et technologiques de pointe pour apporter des réponses adaptées aux problématiques rencontrées par nos partenaires. C'est ainsi que notre institut fait avancer la recherche et l'innovation, en assurant une permanente montée en compétences de ses équipes et de ses partenaires, et en soutenant l'émergence de nouveaux cas d'usage.

Notre modèle a récemment été conforté par le gouvernement au travers d'une dotation de 35 millions répartis en deux tranches, la première d'un montant de 25 millions d'euros s'étendant jusqu'en 2023. Ce financement intervient dans le cadre de la dotation de 450 millions d'euros sur cinq ans accordée en faveur des Instituts de recherche technologique (IRT) et des Instituts pour la transition énergétique (ITE), afin de soutenir l'innovation industrielle et la recherche.

Depuis 2012, nous œuvrons pour faire de l'IRT SystemX une référence, aux niveaux national et international, dans le domaine de l'ingénierie numérique des systèmes. Nous avons fait nos preuves à l'échelle européenne avec notre implication au sein de plusieurs projets H2020 majeurs, parmi lesquels nous pouvons citer SeCoIIa, dont l'objectif est d'assurer la transition numérique de l'industrie manufacturière, et LEAD, qui œuvre à créer les jumeaux numériques des réseaux de logistique urbaine de six grandes villes (Madrid, La Haye, Budapest, Lyon, Oslo et Porto). Au niveau international, nous avons ouvert une antenne à Singapour en 2017, où nous collaborons avec la Nanyang Technological University (NTU) et de grands industriels français sur des thématiques liées au transport autonome, à la cybersécurité, à l'intelligence artificielle, à l'Internet des objets ou encore à la blockchain.

Nos recherches sont également très ancrées dans les territoires français. La grande majorité de nos activités de R&D sont menées au cœur du cluster Paris-Saclay qui fédère 20 % de la recherche française. Enfin, à Lyon, nous avons étendu nos activités de R&D dans les domaines des nouvelles mobilités, de l'énergie et de la sécurité numérique, en collaboration avec la Métropole de Lyon, les centres scientifiques de renom, les acteurs industriels et les pôles de compétitivité de la région.

A l'horizon 2025, notre ambition est claire : aider nos partenaires à maîtriser les technologies clés pour réussir leur transformation numérique. Pour y parvenir, nous continuerons à nous appuyer sur ce qui fait notre originalité et il ne fait aucun doute que nos projets de recherche donneront lieu à de nombreux impacts pour l'industrie dans les mois et années à venir.

Ce document vous permettra de découvrir, au travers de résultats tangibles, notre capacité à imaginer et concevoir le monde numérique de demain, en étroite collaboration avec les mondes académiques et industriels. Je vous en souhaite une bonne lecture !

Concevoir

le monde numérique de demain

> *« L'IRT SystemX propose un modèle unique au service de l'industrie pour accélérer les impacts et transferts de technologie. »*

Abdelkrim Doufene
Directeur Stratégie et Programmes, IRT SystemX

Bruno Foyer
Directeur Recherche et Technologies, IRT SystemX
@BrunoFoyer

Comment l'IRT SystemX répond-il aux besoins de la société numérique ?

En collaboration avec ses partenaires, notre institut prescrit des solutions innovantes au regard des contraintes industrielles, tout en s'appuyant sur une cartographie de compétences multifilières et multidisciplinaires unique. L'IRT joue un rôle de créateur de valeur par la mutualisation de « savoir-faire » en anticipant les mutations futures, au service de la société numérique.

Quels seront les enjeux prioritaires adressés par l'institut dans les années à venir ?

Nous nous appuyons sur quatre leviers pour identifier les enjeux prioritaires à traiter au sein de nos projets :

- les besoins sociétaux et les orientations environnementales et règlementaires,
- les feuilles de route des partenaires industriels de l'institut et des évolutions technologiques,
- les recommandations du monde académique et les défis scientifiques priorisés,
- et enfin les compétences internes et les plateformes développées au sein de l'IRT SystemX.

Quels indicateurs utilisez-vous pour arbitrer les projets à mener ?

Nous priorisons les enjeux ayant le plus fort potentiel en matière d'impact économique, technologique et sociétal. Nos projets doivent également revêtir au moins l'une des trois dimensions suivantes : la résilience (rester opérationnel en dépit des altérations de l'environnement), la soutenabilité (produire des développements durables favorisant les cycles courts énergétiquement peu coûteux) et la souveraineté (assurer la subsidiarité géographique et/ou économique de nouveaux développements et leur indépendance technologique).

Qu'est-ce qu'un impact pour l'IRT SystemX ?

Nous répondons aux défis scientifiques de nos partenaires pour les aider à innover et optimiser leurs cas d'usage opérationnels. Notre objectif est de créer de l'impact en leur transférant, à l'issue d'un projet de R&D, les actifs numériques produits. Ces résultats peuvent prendre plusieurs formes : preuves de concept ou prototypes spécifiants, études scientifiques, jeux de données et algorithmes innovants, plateformes technologiques opérables et valorisables.

Comment l'institut se structure-t-il pour générer le plus d'impacts chez ses partenaires ?

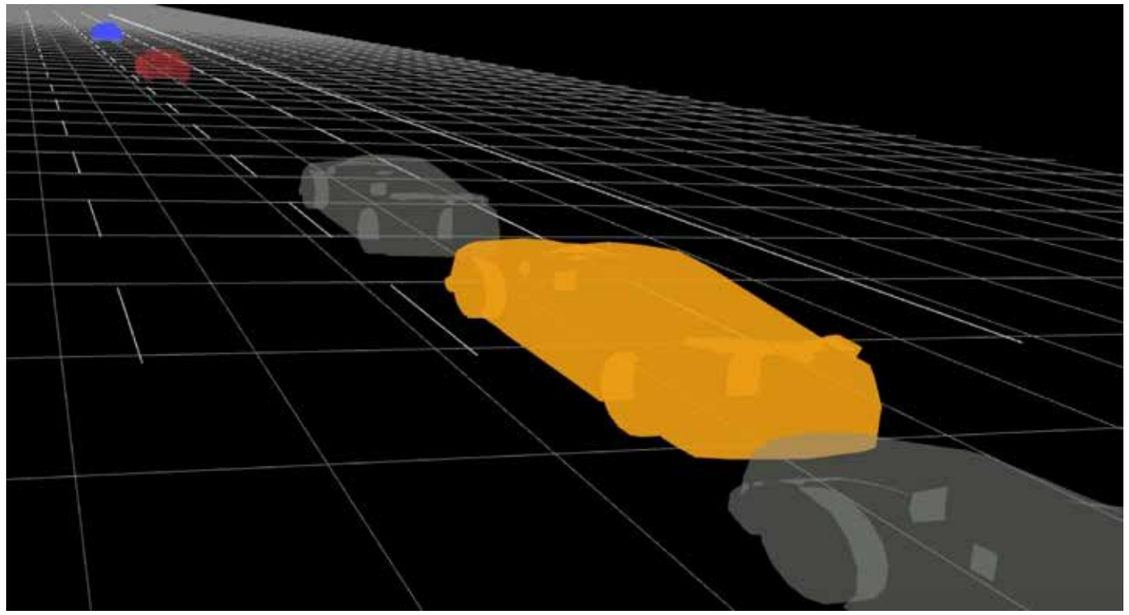
Nous avons établi une organisation matricielle pour faciliter la synergie des compétences. Nos équipes sont structurées autour de huit domaines de compétences affectés sur un ou plusieurs projets R&D. Cette vision à 360° leur permet d'orienter leurs travaux de manière mutualisée. L'un des atouts de l'institut est son équipe d'ingénierie logicielle « Software & DevOps », qui accompagne les équipes dans la réalisation des preuves de concept ou de plateformes technologiques, pour en faire des produits opérationnels et transférables.

Comment les impacts sont-ils exploités et valorisés par les équipes de l'institut et les partenaires ?

Le processus de production des impacts est encadré par une méthodologie inscrite au cœur de la gouvernance numérique de l'institut. Celle-ci suit un processus de montée en maturité, de l'étape de création et d'évaluation de solutions scientifiques ou technologiques, au développement de preuves de concept opérationnelles, qui dans certains cas donnent naissance à des plateformes réutilisables. Ces plateformes peuvent faire l'objet d'une ingénierie plus poussée, soit par nos partenaires, soit via une structure dédiée. Depuis 2014, SystemX a développé plus de 200 actifs, dont près de la moitié sont évalués pertinents ou à fort potentiel !

Relever le défi de la validation du véhicule autonome

La plateforme MOSAR (Méthodes et Outils pour l'évaluation de la Sûreté de fonctionnement et l'Analyse de la Robustesse des véhicules autonomes) propose une méthodologie et une suite outillée pour concevoir et valider la sécurité du véhicule autonome par l'usage d'une base de scénarios.



Les constructeurs et équipementiers automobiles doivent relever un défi scientifique et technologique majeur : démontrer la sécurité du véhicule autonome dans un environnement complexe, générateur d'un très grand nombre de situations de conduite dans lesquelles il doit réagir de façon sûre.

La plateforme MOSAR, fruit de la collaboration de l'IRT SystemX avec des acteurs automobiles français de premier rang, tels que le Groupe Renault, le Groupe PSA, Valeo, AVSimulation, et Expleo, apporte une expertise unique pour évaluer le comportement d'un système décisionnel autonome à partir d'une multitude de scénarios issus de roulages, de statistiques d'accidentologie, ou d'expertise.

MOSAR se décline en trois modules :

1. La gestion de scénarios représentatifs des situations que rencontrent le véhicule autonome : la plateforme fournit à ses utilisateurs des capacités permettant la gestion d'une bibliothèque de scénarios de référence et l'analyse statistique des situations pour les phases de conception, de validation et d'homologation.
2. La génération combinatoire de cas tests dont l'objectif est d'aider à la constitution d'un plan de validation et de générer des cas de test simulables en exploitant la variabilité des paramètres des scénarios pour représenter la diversité des situations rencontrées par les véhicules.
3. L'exécution de tests en simulation et l'analyse des résultats et du comportement du système autonome sous test.

> ***« La plateforme MOSAR offre à ses utilisateurs une gestion de scénarios pertinents pour la démonstration de la sécurité des véhicules autonomes. Son développement a été rendu possible par une mutualisation réussie de compétences scientifiques et techniques entre les équipes de l'IRT SystemX et ses partenaires. »***
>
> **Erwan Revert**, *Architecte Software & DevOps, IRT SystemX*

FOCUS

mosar
Plateforme d'évaluation des systèmes autonomes

Le rayonnement de la plateforme MOSAR à l'international

- *Les groupes Renault et PSA souhaitent désormais exploiter les travaux de R&D développés autour de la plateforme MOSAR pour leurs besoins opérationnels et fédérer les acteurs européens ou internationaux via leurs alliances autour d'une méthode de référence commune. C'est dans cet objectif que la création d'une entité juridique dédiée est à l'étude.*
- *La plateforme MOSAR, référencée par l'OICA (Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles), a déjà suscité l'intérêt d'acteurs de renom tels que BMW, Toyota Europe ou la JAMA (Association des constructeurs japonais). Des tests d'utilisation sont en cours.*
- *Des travaux communs sont engagés via l'ASAM (Association for Standardisation of Automation and Measuring) et l'association ASC(S (Automotive Solution Center for Simulation), regroupant notamment BMW, Daimler Chrysler, Porsche et Audi, pour converger sur la méthode de simulation et l'exploitation du standard Open Scenario issu du projet allemand Pegasus.*

INTERVIEW

Jean-François Sencerin,

Directeur du programme conduite autonome NFI/ PFA

Comment la filière automobile France aborde-t-elle le défi de la sécurité des systèmes autonomes ?

Dès le lancement du programme France Véhicules Autonomes, coordonné par la filière Automobile et mobilités (PFA), l'IRT SystemX a joué un rôle central et pionnier dans le domaine de la sécurité des systèmes.
La sécurisation d'un système de transport autonome englobe plusieurs aspects nécessitant des approches spécifiques dépendantes du type du système, de son environnement, des conditions opérationnelles, et des niveaux de sécurité à atteindre. Il est en particulier nécessaire de :

- **sécuriser le système vis-à-vis de dysfonctionnements internes (« safety »),**
- **protéger le système des attaques extérieures (cyber sécurité ou « security »),**
- **éviter des prises de décisions erronées par le système, dues par exemple à une mauvaise interprétation de son environnement par celui-ci au travers de ses capteurs (« fonctionnel sûr » ou « Safety Of The Intended Functionality »),**
- **empêcher le conducteur ou l'opérateur de faire une mauvaise utilisation du système (les mésusages potentiellement prévisibles).**

Quel rôle la plateforme MOSAR peut-elle jouer et quels sont ses principaux atouts pour répondre à ce défi ?

Pour la démonstration de la sécurité d'un tel système, il est indispensable de disposer de méthodologies et de référentiels communs partagés, en particulier d'un catalogue de scénarios pertinents. Avec l'introduction de la norme ISO SOTIF 21448, relative à la mise en place de standards de sécurité pour les systèmes d'aide à la conduite, la capitalisation des scénarios pertinents existants dans une base de données commune est devenue essentielle. C'est dans ce contexte que SystemX a construit une bibliothèque de scénarios, en suivant un format de données standard, et en développant la plateforme MOSAR. Cette plateforme supporte une application logicielle appelée « Scenario Manager » qui, en mode « Software As A Service (SaaS) », propose des fonctionnalités pour gérer ces scénarios. Basée sur un modèle de données commun, MOSAR permet aux partenaires de l'IRT SystemX de décrire leurs scénarios via une interface web, au sein d'une bibliothèque sécurisée et partagée. Ces scénarios seront ensuite utilisés pour les activités de conception, de simulation, de validation ou d'homologation.

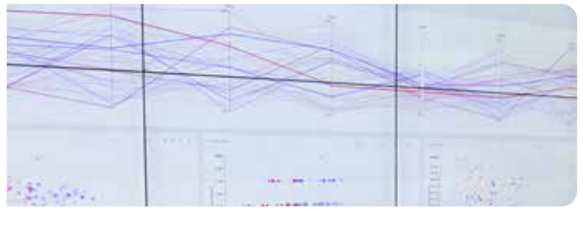
Comment projetez-vous son développement à l'international ?

Les résultats sont déjà portés devant les différentes instances de normalisation qui sont en train de définir les premiers standards du domaine, devant les groupes de travail nationaux et internationaux en charge des futures règlementations, devant la PFA, la JAMA (Association des constructeurs japonais) ou le VDA (association allemande de l'industrie automobile). Il s'agit ainsi de placer les acteurs français au cœur de la construction du nouvel écosystème du véhicule et de la mobilité autonome.

Contribuer aux évolutions du domaine de la conception de systèmes mécaniques

L'IRT SystemX innove dans le domaine de la conception de systèmes mécaniques par la réduction de modèles et l'optimisation multi-physique avec la plateforme logicielle DCIDE (Dashboard for Collaborative Innovative DEcision) et le module de calcul ReCUR (Régression CUR), développés avec le support de Renault et ESI Group.

Ces briques technologiques complémentaires accompagnent les équipes de conception de systèmes mécaniques en leur donnant accès à une Interface Homme-Machine interactive, collaborative et décentralisée de visualisation de résultats et de pilotage d'infrastructures de calcul (DCIDE), et en leur offrant des méthodes de réduction de modèles novatrices (ReCUR). La combinaison de DCIDE et ReCUR permet de réduire drastiquement les temps de calcul, tout en conservant une représentativité exhaustive des résultats de simulation.



« Cette solution a été exploitée par Renault pour retrouver, en quelques itérations de calcul, l'optimisation du modèle de caisse de la Renault Talisman, en lieu et place de plusieurs mois d'étude. »

Jean-Patrick Brunet, *Architecte Software & DevOps, IRT SystemX*

FOCUS

Une prolongation des travaux de DCIDE au sein des projets AMC et ISC

Le projet Agilité des Marges de Conception (AMC) de l'IRT SystemX a exploité DCIDE afin d'accélérer le développement de sa plateforme SimArt (*Simulation Architect Tool*). Son ambition : renforcer la collaboration entre tous les acteurs de la chaîne de conception de systèmes complexes par un outillage connecté aux infrastructures de calcul et garantir ainsi une recherche optimale de solutions efficientes. Le projet Ingénierie Système Collaborative des Systèmes Complexes (I(SC)²) complète cette plateforme collaborative en proposant de nouvelles fonctionnalités d'aide à la décision en matière de choix d'architecture système : visualisation des modèles de préférence pour l'évaluation et le choix d'architecture, fonctionnalité de comparaison des scores d'architectures, visualisation de l'incertitude des paramètres impliqués et de l'impact de sa propagation.

INTERVIEW

Eric Landel,

Consultant sénior dans le domaine de la simulation numérique, expert leader modélisation et simulation numérique chez Renault de 2011 à 2020

Qu'apporte la plateforme DCIDE au domaine de la conception de systèmes mécaniques ?

La plateforme DCIDE permet de mener rapidement et efficacement des études d'optimisation paramétriques des véhicules, tout en intégrant de nombreuses variations (épaisseurs des structures, nature des matériaux, etc.) et en obtenant la meilleure solution possible. Actuellement, cet objectif est réalisable mais dans des délais importants et contraignants. Grâce aux méthodes de réduction de modèles intégrées dans DCIDE, les temps de calcul sont réduits et combinés à des outils de visualisation performants.

Quel rôle a joué Renault dans sa mise au point ?

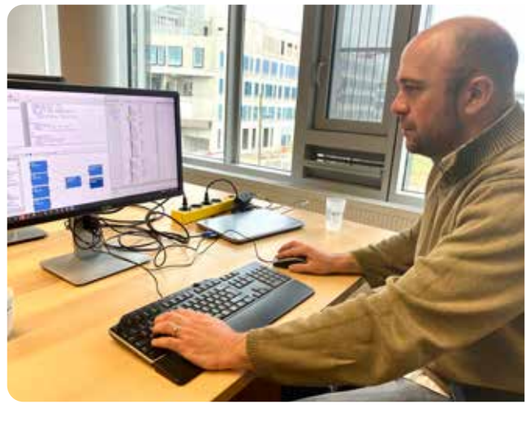
En tant que partenaire de l'IRT SystemX, Renault s'est investi dans la mise au point de la plateforme DCIDE en apportant son point de vue industriel sur les problématiques et cas d'usage à résoudre, et en contribuant au développement méthodologique de la méthode de réduction de modèles ReCUR.

Comment projetez-vous l'évolution de cette plateforme dans les prochaines années ?

La plateforme DCIDE est actuellement un démonstrateur permettant de valoriser le potentiel des méthodes de visualisation et de réduction de modèles pour converger vers des solutions optimales. Renault poursuit des travaux de recherche méthodologique sur la plateforme ReCUR pour se doter d'un outil industriel efficient, au service de la conception des systèmes mécaniques de ses véhicules.

Accélérer l'analyse de risques par les modèles

L'IRT SystemX a développé OpenAltarica, une plateforme logicielle de référence pour implémenter les outils et méthodes pour l'analyse du risque des systèmes complexes critiques (aéronautique, ferroviaire, nucléaire, etc.). Celle-ci s'appuie sur la conception dirigée par les modèles et propose une modélisation dynamique des défaillances.



Les systèmes sont de plus en plus complexes et leur sûreté devient une préoccupation majeure pour les industries. L'IRT SystemX a développé la plateforme OpenAltaRica pour accompagner les équipes d'ingénierie dans la conception des systèmes du futur, en intégrant la contrainte de sûreté. Cette plateforme de référence donne accès à un langage de modélisation haut niveau - AltaRica 3.0 - dédié à l'analyse du risque et basé sur la méthode dite « dirigée par les modèles » (MBSA, *Model Based Safety Assessment*).

OpenAltaRica se positionne ainsi au plus près des descriptions des systèmes et pourrait permettre d'engendrer, à terme, une réduction des coûts liés par exemple aux activités de conception ou de maintenance, fréquemment impactées par les risques d'erreurs. L'intégration avec les autres domaines de l'ingénierie est également simplifiée, pour un meilleur partage d'informations entre l'ensemble des parties prenantes.

Depuis sa mise à disposition, la plateforme OpenAltaRica a été téléchargée plus de 400 fois par la communauté de ses utilisateurs. Elle est exploitée par des industriels de renom, tels qu'Apsys, Thales ou Safran.

« La plateforme OpenAltaRica est née d'une collaboration très enrichissante avec le secteur académique, et plus particulièrement avec l'association AltaRica, dédiée au développement de la science des modèles et de la modélisation pour l'ingénierie des systèmes. Les travaux menés reflètent la capacité de l'institut à assurer la transmission de travaux académiques vers le secteur de l'industrie. »

Michel Batteux, *Chef du projet OpenAltaRica, IRT SystemX*

INTERVIEW

Antoine Rauzy

Président de l'association AltaRica, professeur à l'Université norvégienne de sciences et de technologie (NTNU)

Qu'a apporté OpenAltaRica aux équipes de sûreté de fonctionnement ?

Les avancées sont considérables. La plateforme OpenAltaRica a créé un véritable vivier de connaissances scientifiques et techniques dans le domaine de l'analyse de risques par modèles. Nos travaux ont amené des progrès significatifs autour de la sûreté de fonctionnement et ont placé la France comme leader mondial sur le sujet. Nos recherches ont également conduit au développement de solutions effectives pour réaliser des études de sûreté de fonctionnement de systèmes complexes. La plateforme s'est positionnée comme une référence sur le sujet et comme un outil directement industrialisable. Enfin, nous avons, à notre échelle, accompagné la montée en compétences de la communauté de la sûreté de fonctionnement grâce aux nombreuses activités de dissémination que nous avons menées.

Comment avez-vous contribué au développement de cette plateforme ?

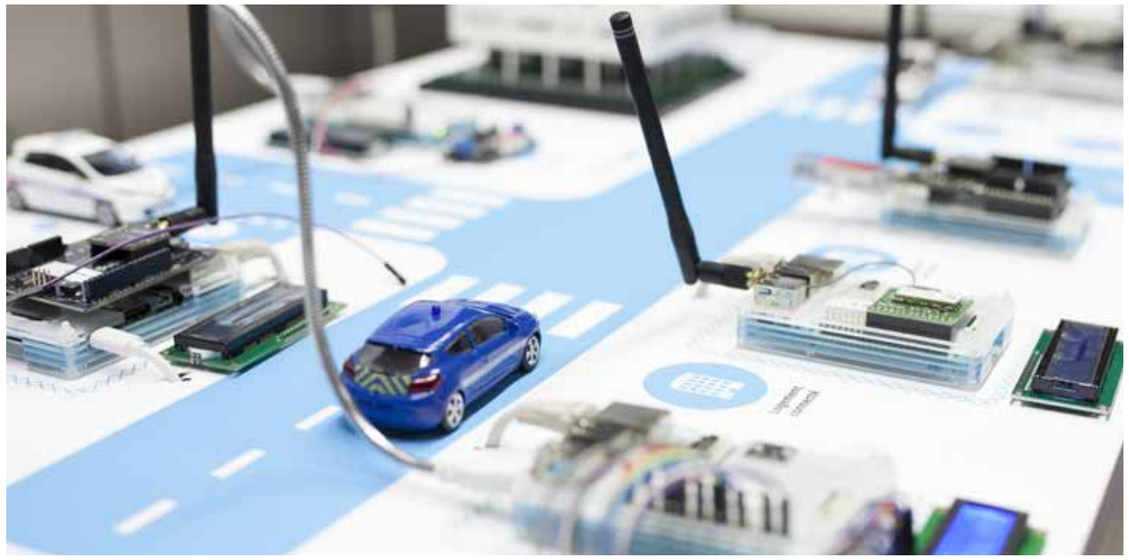
Derrière OpenAltaRica, il y a une équipe à taille humaine. Les échanges étaient très riches, nous avons tous apporté des solutions théoriques et participé au développement de la plateforme et à la conduite d'expérimentations. De mon côté, j'ai amené ma culture scientifique et mes connaissances générales sur des domaines touchant aux mathématiques, à l'ingénierie système et à la sûreté de fonctionnement. J'ai également contribué aux activités de développement de la plateforme.

Que retenez-vous de votre collaboration avec l'IRT SystemX ?

Je suis convaincu qu'un intermédiaire entre le monde académique et l'industrie est indispensable pour diffuser les résultats de la recherche scientifique vers le monde industriel d'une part, et remonter les besoins et attentes des industriels vers les chercheurs d'autre part. L'IRT SystemX a joué ce rôle tout au long du développement de la plateforme OpenAltaRica.

Optimiser la cybersécurité des architectures de systèmes avec la plateforme CHESS

Fruit de cinq années de collaboration avec neuf partenaires industriels et académiques, CHESS est une plateforme dédiée au développement, à l'évaluation et à l'intégration de solutions de cybersécurité des systèmes informatiques et cyber-physiques hyperconnectés.



« CHESS est l'une des rares plateformes, aux échelles nationale et européenne, entièrement dédiée à la cybersécurité, et qui soit à la fois sécurisée, de confiance, complète, neutre et ouverte à tous. Elle offre de nombreuses capacités matérielles et logicielles assorties d'une offre de services de sécurité s'appuyant sur une expertise humaine de pointe, afin de répondre rapidement aux besoins de recherche, d'innovation et de formation en cybersécurité. Nous invitons les industriels français souhaitant évaluer les vulnérabilités de leurs systèmes, de leurs stratégies de protection et/ou de leurs solutions innovantes à la tester. »

Reda Yaich, *Responsable d'équipe Sécurité numérique et Réseaux, IRT SystemX*

L'institut et ses partenaires (CEA, Télécom SudParis/Institut Mines-Télécom, Airbus, Airbus Defence & Space, Bertin IT, Engie, Gemalto, Prove&Run, Thales) ont développé, en collaboration avec l'ANSSI[1], un environnement « sécurisé et de confiance » dédié à l'intégration, à l'évaluation et au renforcement de la cybersécurité des systèmes du futur (véhicule connecté, IoT industriels, *smart grids*, etc.), lors de scénarios avancés. Baptisée CHESS[2], cette plateforme offre un environnement matériel et logiciel complet pour analyser les systèmes du futur, identifier les failles de sécurité, modéliser et simuler des attaques, et tester des stratégies de protection et des technologies innovantes de défense (*moving target defense*, segmentation, isolation, authentification, chiffrement léger, chiffrement homomorphe, etc.).

Labellisée par le CoFIS[3], elle propose également un riche catalogue de cyberattaques sur des réseaux IT (*Information Technology*) et OT (*Operational Technology*), ainsi qu'un environnement dédié à la sensibilisation et l'entraînement cyber. C'est d'ailleurs sur la plateforme CHESS que s'entraîne la sélection nationale de l'ANSSI représentant la France pour l'*European Cyber Security Challenge*, organisé chaque année par l'Agence Européenne de la Cybersécurité (ENISA). La plateforme est également mise à disposition d'entreprises, dans le cadre de la mission de sensibilisation et de formation de leurs collaborateurs aux risques cyber. CHESS a vocation à devenir une plateforme de référence française en cybersécurité industrielle. Enrichie constamment par de nouvelles briques, pouvant prendre la forme de logiciels, de scénarios d'attaques, de générateurs de vie ou encore d'outils de détection, et nourrie par les projets de l'IRT SystemX, la plateforme vise à construire une offre de services dédiés à la cybersécurité et ouverte à tous afin de favoriser le partage de l'expertise et des connaissances entre les industriels et les académiques.

1. Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information.
2. Cybersecurity Hardening Environment for Systems of Systems – Simulation et analyse pour l'évaluation de la cybersécurité des architectures de systèmes.
3. Comité de la Filière Industrielle de la Sécurité.

Des applications de la plateforme CHESS pour le secteur des transports

La plateforme CHESS permet entre autres de modéliser, simuler et émuler des infrastructures cyber-physiques complexes à des fins d'évaluation et de renforcement de la sécurité numérique. Cette plateforme a suscité l'intérêt de plusieurs partenaires industriels et institutionnels dont Naval Group.

FOCUS

Dans le cadre des travaux autour de la plateforme CHESS, une thèse sur le thème « Simulation d'activité et d'attaques : application à la cyberdéfense » (Pierre-Marie Bajan - IRT SystemX, Télécom SudParis) a été consacrée au développement d'une nouvelle méthode de simulation en réseau, pour créer un environnement d'évaluation de produits de sécurité et de services. Cette thèse a fait l'objet d'un « Best Paper Award » à l'occasion de l'édition 2018 de la conférence ICIMP (International Conference on Information Communication and Processing).

INTERVIEW

Patrick Hebrard

Responsable de la Recherche et Innovation Cyber, Naval Group

Pourquoi et comment se positionne Naval Group sur le domaine de la sécurité des infrastructures industrielles ?

Les infrastructures industrielles font partie intégrante des domaines concernés par la cybersécurité pour Naval Group. C'est au cœur même de notre stratégie : nous intégrons la cybersécurité dans tout le cycle de vie du navire, de la conception à la maintenance, et cela inclut tout l'écosystème, dont les infrastructures industrielles et la supply chain font partie. Naval Group assure également la sécurité de ses propres infrastructures et de ses systèmes d'information, sur ses sites en France et à l'international.

Quelles sont les perspectives d'utilisation de la plateforme CHESS par Naval Group ?

Nous avons découvert CHESS dans le cadre du projet sur le port et le navire du futur sécurisés (PFS), que nous menons avec SystemX et qui traite de cybersécurité dans le domaine maritime. Il ouvre un nouveau terrain de jeu pour la plateforme CHESS qui se nourrit déjà de différents cas d'usages dans les domaines des smart grids, smart cars ou de l'industrie 4.0 – sujets sur lequel nous travaillons aussi avec l'IRT au travers du projet H2020 SeCoIIA (*Secure Cooperative Intelligent Industrial Assets*).
Naval Group a fortement investi ces dernières années dans la cybersécurité. Nous apportons maintenant, dans le cadre du projet PFS, toute notre expertise et expérience au profit du projet. La collaboration va permettre d'accélérer nos innovations cyber de part et d'autre et en particulier autour de CHESS. Le projet n'en est qu'à son démarrage et nous allons étudier les fonctionnalités qui pourront être éventuellement réutilisées (catalogue d'attaques, connaissances sur les sondes de sécurité, etc.). Plusieurs autres partenaires ont rejoint le projet pour développer de nouveaux cas d'usage, dans les locaux de SystemX à Saclay. Cela sera l'occasion de nous enrichir les uns les autres de tous nos savoir-faire et de capitaliser sur nos différentes plateformes.

FOCUS

Une enquête terrain inédite menée par l'IRT SystemX auprès de PME et TPE françaises, victimes de cyber-attaques

Pendant près de trois ans, SystemX a enquêté auprès d'environ 60 entreprises, principalement des TPE et PME françaises, victimes de cyberattaques réussies. Objectif : quantifier l'impact réel des cyber-préjudices en France, élaborer des modèles de calcul des coûts ainsi que de l'exposition d'une entreprise au risque.
Il ressort de cette étude inédite des chiffres particulièrement intéressants qui font voler en éclat deux croyances communément admises : le nombre de cyberattaques réussies, de l'ordre de 2 à 5 %, s'avère bien supérieur aux estimations rendues publiques, tandis que le coût moyen des cyberattaques se révèle beaucoup plus faible que supposé et s'évalue en milliers d'euros. Cette étude a permis de sensibiliser largement les petites structures françaises aux cyber-risques et mesures élémentaires à mettre en œuvre. Un travail d'étude a également été mené avec les assureurs pour mieux maîtriser le risque cyber sur l'ensemble de la chaîne de valeur et son transfert vers l'assurance.

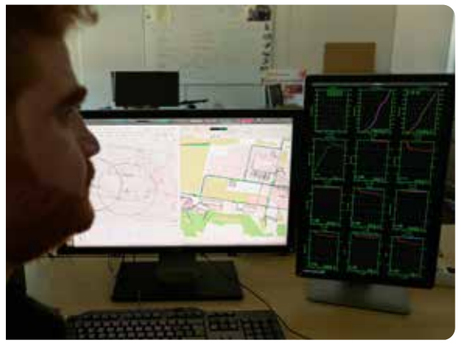
Répondre aux enjeux de sécurité et de « privacy » du véhicule connecté

La sécurité du véhicule connecté est l'un des enjeux technologiques majeurs de la mobilité de demain. Avec ses partenaires, l'institut a mis au point une Public Key Infrastructure (PKI) adaptée à la complexité des ITS coopératifs (systèmes de transport intelligents) pour sécuriser les communications V2X, c'est-à-dire les communications entre véhicules et entre les véhicules et leur environnement, tout en garantissant la vie privée des usagers.

Cette PKI est un tiers de confiance qui délivre des certificats numériques aux différentes entités du réseau routier (véhicules, infrastructures de bord de route, etc.) pour garantir l'intégrité et l'authenticité des messages échangés et ainsi protéger le système face aux attaquants externes. La solution mise en œuvre traite l'ensemble de la chaîne permettant d'assurer les communications V2X, depuis la gestion des certificats pseudonymisés, jusqu'à l'implémentation dans une pile logicielle embarquée au sein du véhicule ou d'une infrastructure routière.

La PKI développée a été poussée en standardisation par SystemX et ses partenaires en Europe à l'ETSI. Elle a été déployée dans le cadre de deux projets ambitieux d'envergure nationale :

- Le projet SCOOP de déploiement pilote de systèmes de transport intelligents coopératifs, dont une flotte de 3 000 véhicules en France intégrant le protocole PKI.
- L'expérimentation Paris-Saclay Autonomous Lab avec plusieurs équipements embarqués qui intègrent le protocole PKI.



> *« La technologie de PKI développée par Atos avec le support de l'IRT SystemX est particulièrement mature. Elle sécurise les communications V2X, pour prémunir les ITS coopératifs contre les cyber-attaques et répondre dans le même temps aux enjeux de « privacy » et d'interopérabilité associés. Nos travaux vont se poursuivre avec le développement d'une technologie de détection des comportements malveillants parmi les entités certifiées par la PKI. »*
>
> **Arnaud Kaiser**, *Chef de projet, IRT SystemX.*

INTERVIEW

Coralie Héritier,

Directrice Générale, IDnomic (Groupe Atos)

Pourquoi collaborer avec SystemX pour améliorer la sécurité des communications du véhicule connecté ?

Notre coopération avec SystemX a débuté en 2014 avec le projet le projet ISE (ITS Sécurité). Nous avons immédiatement perçu l'adéquation de notre expertise technologique avec les besoins du projet, mais aussi identifié les verrous techniques qui nous permettraient d'enrichir notre expertise, et surtout de participer à l'élaboration d'une plateforme trouvant des applications très concrètes dans un domaine d'avenir, préfigurant les travaux sur la sécurité des futurs véhicules autonomes. Un autre intérêt majeur du projet ISE résidait dans le fait qu'il s'inscrivait dans la recherche de conformité avec le standard européen C-ITS.

Quels résultats cette collaboration vous a-t-elle apportés ?

Le premier projet a abouti à un démonstrateur ensuite utilisé dans le cadre d'un projet européen d'envergure, SCOOP, visant le déploiement de la sécurité des ITS en temps réel sur routes. Il en a essaimé d'autres permettant de pousser encore plus loin les explorations et les démonstrateurs en termes de passage à l'échelle, de connectivité hybride, de continuité de service dans les géographies, ou encore de détection de dysfonctionnements. Autre résultat majeur pour notre entreprise : de belles réalisations commerciales. Le savoir-faire acquis nous a notamment permis de gagner le marché attribué par le JRC (service de sciences et technologies de la Commission européenne) pour sa plateforme de sécurité des ITS. Enfin, cette coopération a été très riche sur le plan humain. L'émulation au sein de SystemX a permis à nos équipes innovation de s'épanouir en participant à des projets inspirants et visibles. Plus généralement, cette valorisation a contribué au rayonnement de l'entreprise et à la fierté de tous nos collaborateurs.

Valider les systèmes de perception du train autonome

SystemX et ses partenaires ont ouvert l'accès à un dataset open source unique de plus de 100 000 images réelles illustrant les différentes classes de feux de circulation ferroviaires français, leurs combinaisons de couleurs, et les qualifications manuelles associées.

Il s'agit d'une initiative inédite dans le domaine du train autonome : SystemX et ses partenaires SNCF, Alstom et Systra ont partagé, à l'issue de leurs travaux portant sur l'automatisation des fonctions d'observation du Train Autonome, le plus important jeu de données open source sur les feux de circulation ferroviaires français, dénommé FRSign. Plus de 100 000 images réelles haute définition, extraites d'un dataset de plusieurs millions d'images, ont ainsi été mises à la disposition de la communauté scientifique. Cette nouvelle source de données terrain peut être utilisée pour tester des algorithmes de *deep learning*, notamment dédiés à la classification d'images ou à la détection d'objets dans les images.

Ces images sont issues de sessions de roulage effectuées sur la même voie pendant deux ans et ont toutes été annotées manuellement. Elles illustrent six types de feux de circulation ferroviaires français et leurs combinaisons de couleurs possibles (treize états), ainsi que les informations concernant leur acquisition (date, heure, paramètres des capteurs et cadres de délimitation, etc.).

Ce jeu massif de données a été constitué dans le cadre d'un projet de R&D de l'IRT SystemX, dont l'objectif principal était de définir l'état de l'art de l'automatisation des fonctions d'observation d'un conducteur de matériel roulant. Un projet de deux ans qui s'est inscrit dans le projet Train Automatique de SNCF.

FOCUS

Subeer Rangra a reçu le prix « Méthodes et industrie » λμ d'Or (meilleur article interactif) lors du 21e symposium Lambda Mu en 2018. Ce prix récompense ses travaux, menés dans le cadre du projet TAS (Transport Terrestre Autonome en Sécurité dans son Environnement) de l'IRT SystemX, et dédiés à l'analyse des risques et à la sécurité de l'exploitation autonome des trains sur les grandes lignes.

INTERVIEW

Luc Laroche

Directeur du projet Train Automatique, SNCF

Pourquoi avez-vous décidé de vous associer à l'IRT SystemX dans le cadre du projet Train Automatique mené par SNCF ?

SNCF s'est associée à l'IRT SystemX pour relever le défi du train autonome. L'autonomie apportera des atouts supplémentaires au ferroviaire : augmentation de la capacité des infrastructures, meilleure régularité, qualité du service, maîtrise de la consommation énergétique, etc. Pour renforcer la compétitivité du ferroviaire, nous devons lever d'importants verrous technologiques dans de nombreux domaines dont certains sont au cœur des compétences de l'institut : le numérique, l'intelligence artificielle, la détection. Depuis le lancement, en 2017, du projet d'automatisation de la lecture de la signalisation latérale et de la détection des obstacles, un important travail a été effectué. Les équipes de SystemX ont, notamment contribué à l'écriture de *software* et à la conception d'un système de détection des signaux, avec des algorithmes de *deep learning*.

Quels bénéfices tirez-vous de cette collaboration ?

A l'issue de la première phase du projet, portant sur la détection des signaux, un équipement prototype a fonctionné en situation réelle sur un train d'essai en région parisienne. Le projet est entré dans une seconde phase d'essai, avec la détection des obstacles. L'objectif est d'intégrer ce système sur une locomotive Fret à mi-2021. Le partenariat avec SystemX, nous permet de franchir des étapes majeures pour réussir l'exploitation d'un train autonome. Afin d'entraîner des algorithmes à la lecture de la signalisation, SystemX et SNCF ont construit une importante base de données de signaux ferroviaires, aujourd'hui mise en open source. Celle-ci a fait l'objet d'un travail d'annotation.

Développer de nouveaux usages et offres de services grâce à la technologie blockchain

Depuis 2016, SystemX multiplie les projets visant à valoriser le potentiel de la blockchain dans sa capacité à transformer les modèles économiques et les usages. L'institut s'intéresse plus particulièrement aux nouvelles applications et services exploitant cette technologie de stockage et de partage d'informations sécurisée et infalsifiable, qui s'affranchit des tiers de confiance. Il a mis au point la plateforme technologique BEST (Blockchain Environment for Smart Trust), pour instancier et expérimenter des cas d'usage dans les domaines de la mobilité, de l'énergie et de la finance, lever les verrous technologiques associés et valider leur faisabilité technologique, économique et juridique.

IMPACT #1

Carnet d'entretien automobile : expérimenter la gestion décentralisée et tracée du suivi d'entretien d'un véhicule par la blockchain

La blockchain peut-elle améliorer la valorisation des véhicules d'occasion ? C'est l'un des cas d'usage étudiés par les équipes de SystemX et ses partenaires qui a abouti à un démonstrateur permettant d'automatiser, de sécuriser et de partager les informations relatives à un véhicule à travers un carnet d'entretien virtuel décentralisé et sécurisé, entre tous les acteurs clés de la chaine de valeur automobile (constructeurs automobiles, garagistes, compagnies d'assurance, services d'archivage de documents, utilisateurs, etc.). Il permet de certifier la traçabilité du cycle de vie d'un véhicule et de son kilométrage, depuis son achat jusqu'à sa destruction, en passant par les étapes de maintenance et de revente. La réalisation d'un démonstrateur sur la plateforme BEST a permis de valider la pertinence de ce cas d'usage.

INTERVIEW

Aldric Loyer

Pilote de roadmaps technologiques d'architectures électroniques, Groupe PSA

Quels bénéfices tirez-vous de votre collaboration avec SystemX ?

Avec l'IRT, nous apprécions d'avoir la possibilité d'approfondir des technologies qui ne sont pas issues du monde automobile. L'institut nous permet d'instruire des technologies, telles que la blockchain, qui viennent de l'informatique traditionnelle et qui sont très peu connues de nos équipes embarquées. De plus, le caractère multifilière et multipartenarial des projets nous intéresse particulièrement sur ce type de travaux amont. Il permet d'atteindre une masse critique en bâtissant un écosystème d'entreprises compétentes dans un domaine précis, de partager nos visions et de pouvoir analyser le potentiel d'une technologie, en mutualisant à la fois coûts et compétences.

Quels résultats concrets ces travaux ont-ils apportés au Groupe PSA ?

Dès le départ, l'ambition était de bien comprendre et évaluer la maturité de la technologie blockchain, en appliquant des « Proof-of-Concept » (PoC) techniques appliqués à des cas d'usage sectoriels – dans notre cas, expérimenter la blockchain au profit de la mise en œuvre d'un carnet d'entretien sécurisé du véhicule. Le fait d'intégrer des juristes était intéressant pour disposer d'une vision opérationnelle de l'utilisation et de l'apport de la blockchain par rapport aux contraintes légales de manipulation des données. La blockchain est en effet en rupture par rapport à nos modes de gestion de la donnée traditionnels. Enfin, après avoir expliqué à nos équipes techniques les résultats du PoC réalisé, nous avons décidé d'aller plus loin et de développer un « Proof of Value ». C'est l'ambition d'une nouvelle collaboration avec SystemX qui se focalise uniquement sur des cas d'usage automobiles. Il embarque un consortium d'acteurs du monde automobile (constructeurs, réparateurs indépendants) et de l'assurance, et ambitionne de développer et d'expérimenter un « Minimum Viable Product », qui visera notamment à évaluer ce que le carnet d'entretien du véhicule basé sur la blockchain apporte du point de vue de l'utilisateur final.

IMPACT #2

Place de marché énergie : proposer une place de marché d'autoconsommation collective gouvernée par la blockchain

L'institut a développé un démonstrateur permettant de déployer une place de marché d'énergie, basée sur une blockchain locale avec des capacités *Vehicle to Grid* se basant sur des bornes de recharges privées. Il permet à des foyers d'acheter de l'énergie produite localement (par exemple issue des panneaux photovoltaïques) ou stockées dans des batteries, sans l'intervention de tiers de confiance. Les échanges énergétiques sont comptabilisés de manière sécurisée et automatisée par des *Smart Contracts*, sur une blockchain dédiée qui implémente un *token* représentant une valeur monétaire. Les volets gouvernance et modèle économique ont également été largement approfondis dans le cadre de ce cas d'usage.

FOCUS

Dans le cadre de ces travaux, trois publications ont été distinguées :

- *« Blockchain Energy Market Place Evaluation: an Agent-Based Approach », par Kei-Leo Brousmiche, Tesnim Abdellatif, Omar Dib et Andra Anoaica, à l'occasion de la 9e conférence annuelle « Information Technology, Electronics and Mobile Communication », Vancouver, Canada (IEEE IEMCON 2018).*
- *« Named Data Networking: A Promising Architecture for the Internet of Things (IoT) », par Maroua Meddeb, lors de l'IGI Global's 11th Annual Excellence in Research Journal Awards (Computer Sciences, 2019).*
- *« Bitcoin transaction visualisations », par Natkamon Tovanich, à l'occasion d'EUROVIS'19 (poster prize).*

INTERVIEW

Gilles Deleuze

Blockchain coordinator, Systems Risks & Safety Analyst, Groupe EDF

Quelles étaient les attentes du Groupe EDF à travers l'étude du cas d'usage place de marché d'autoproduction / consommation collective reposant sur la technologie blockchain ?

En 2017, la blockchain était un sujet très amont et relativement nouveau pour nous. En rejoignant le projet BST (Blockchain for Smart Transactions) de l'IRT SystemX, nous étions dans une démarche d'exploration et d'apprentissage. EDF a été impliqué dans le deuxième PoC du projet, qui portait sur l'autoconsommation d'une place de marché collective, car c'était le sujet par lequel la blockchain rentrait dans le domaine de l'énergie. Nous avions déjà commencé à réfléchir à ce sujet à travers une thèse menée avec Télécom Paris ; c'était pour nous l'occasion d'aller plus loin et de nous appuyer sur SystemX pour développer une solution. Nous nous étions fixé deux objectifs : prouver que la blockchain pouvait consommer peu d'énergie, et démontrer sa capacité à traiter rapidement les informations relatives à un quartier de 200 foyers. Nous avons testé la plateforme dans notre laboratoire d'EDF Lab les Renardières : les essais ont été concluants, à la fois au niveau de la faible consommation d'énergie, du coût et de la faisabilité technique.

Suite à votre investissement au sein du projet BST, quelles actions avez-vous ou allez-vous mettre en place ?

De nombreuses publications techniques ont été rédigées et des démonstrations ont été réalisées auprès de nos équipes pour leur montrer combien les applications de cette plateforme sont concrètes. Nous avons ensuite continué à la faire vivre de deux façons : en premier lieu, nous avons modélisé le système pour étudier sa disponibilité, puis nous avons réalisé un second PoC dans le cadre d'un projet BOOST mené avec SystemX. Dans ce cas d'usage, nous allons encore un cran plus loin puisque nous avons modélisé une place de marché d'autoconsommation collective avec des véhicules électriques qui se rechargent en se déplaçant d'un quartier à un autre. Nous avons aussi étudié le décompte du transport d'énergie entre ces groupes. Ces projets nous ont permis de constater le véritable potentiel de la technologie blockchain, tout en continuant à développer nos simulateurs. Il s'agit là d'un système socio-cyberphysique particulièrement complexe, capable de relier blockchain et différentes couches physiques (production solaire et consommation d'énergie).

Encourager la création et le développement d'entreprises innovantes

L'IRT SystemX a créé en 2019 sa filiale de valorisation, SystemX Transfert. Son ambition : créer un nouveau modèle de transfert de technologies vers l'industrie et les services.

Afin d'apporter de la lisibilité entre ses activités lucratives et non-lucratives, SystemX a décidé de créer sa propre filiale de valorisation. Celle-ci l'aide dans sa mission de valorisation socio-économique de ses résultats. En fournissant un socle juridique disposant d'une certaine souplesse dans sa gouvernance et ses processus décisionnels, SystemX Transfert permet d'accélérer le transfert de technologies. Par la création de cette filiale de valorisation, SystemX envoie également un signal fort à ses équipes ayant la fibre entrepreneuriale en leur donnant la possibilité de bénéficier de l'accompagnement de l'institut dans la réalisation de leurs projets.

FOCUS

The Blockchain Xdev : un relais d'industrialisation des briques technologiques issues des projets de R&D de SystemX autour de la blockchain

Blockchain Xdev

La société The Blockchain Xdev, filiale de The Blockchain Group, est née en 2019 du premier essaimage de SystemX Transfert. L'entité dispose d'une licence pour l'utilisation des actifs orientés blockchain de l'institut, afin de favoriser la conception, l'intégration et la supervision de solutions blockchain au sein des infrastructures IT de ses clients.
A travers cette collaboration, l'IRT SystemX et The Blockchain Group ont complété le paysage de la blockchain en faisant émerger un acteur de référence en charge d'accompagner les industriels dans l'adoption et l'usage de cette technologie dans leurs lignes métiers. En une année d'existence, The Blockchain Xdev a créé cinq emplois et généré un chiffre d'affaires s'élevant à 1 million d'euros.

INTERVIEW

Cyril Orgelot

Secrétaire Général, IRT SystemX

Comment a émergé l'idée de la création de cette filiale de valorisation ?

L'objectif premier était d'approfondir le mécanisme de valorisation des technologies et innovations issus de nos projets de R&D. La création de cette filiale nous permet notamment d'entrer au capital de start-up exploitant ces actifs. C'est concrètement l'aboutissement d'un projet d'essaimage dans le domaine de la blockchain qui nous a conduit à accélérer nos réflexions. En créant SystemX Transfert, nous voulions pouvoir accompagner le porteur du projet par la création d'un nouveau modèle de transfert de technologies vers l'industrie. Notre filiale de valorisation nous apporte une véritable structure juridique et commerciale adaptée pour valoriser les actifs de l'IRT.

Quels sont les ambitions de l'institut à travers sa filiale de valorisation ?

Avec SystemX Transfert, nous cherchons à créer de l'impact et de la valeur chez nos partenaires. Notre ambition est de traiter un à trois dossiers de prises de participation ou de mises en place de licences par an, sur la base d'actifs prometteurs développés au sein de l'institut. À plus long terme, cette structure a pour vocation de renforcer l'attractivité de l'IRT vis-à-vis des talents et de contribuer à la création d'emplois en France.

Quels actifs seraient-ils susceptibles d'être valorisés par SystemX Transfert ?

Nos projets de R&D produisent des actifs numériques qui peuvent prendre la forme de méthodologies, de corpus de données, d'algorithmes, de logiciels, ou encore de démonstrateurs fonctionnels de preuves de concept. Ces actifs sont autant d'éléments à pérenniser, à valoriser et à capitaliser afin d'assurer des transferts de qualité et une réutilisation maitrisée. Ils peuvent donner naissance à une plateforme technologique dès lors qu'un potentiel de réutilisation a été détecté. SystemX Transfert a pour vocation d'accompagner la valorisation de l'ensemble de ces actifs numérique vers nos partenaires.

> ***« La création de The Blockchain Xdev en 2019 a concrétisé le projet d'essaimage que j'ai porté au sein de l'IRT SystemX, avec l'objectif de faire émerger un acteur de référence en charge d'accompagner les industriels dans l'adoption et l'usage de cette technologie dans leurs lignes métiers. Aujourd'hui, nous travaillons étroitement avec l'institut en nous positionnant comme un relais d'industrialisation des briques technologiques issues de ses projets de R&D afin de favoriser la conception, l'intégration et la supervision de solutions blockchain au sein des infrastructures IT de nos clients. »***
>
> **Charles Kremer**, *Directeur Général, The Blockchain Xdev*

Prototyper les solutions de mobilité de demain

SystemX collabore avec les acteurs du monde de la recherche et les territoires pour accompagner la transformation numérique de la filière mobilité. Les travaux incluent la définition, le prototypage et la qualification de briques technologiques innovantes : prévision, optimisation, supervision, simulation, sécurité, etc. À travers ces travaux, l'institut place l'usager au cœur des démarches de conception, et s'intéresse en particulier aux enjeux portés par la mobilité servicielle (*Mobility as a Service*), les transports urbains et interurbains, la logistique, les services à la demande et la planification territoriale.

Dans le cadre d'un projet centré sur l'optimisation des réseaux métropolitains, l'IRT SystemX et le Groupe RATP ont co-développé un portail de supervision multimodal offrant une vision à 360° de l'état des réseaux et de l'impact systémique d'un incident. Cet outil hybride plusieurs sources de données temps-réel avec des fonctionnalités de prévision de trafic et de modélisation des réaffectation véhicules et passagers. L'interface utilisateur délivre aux opérateurs des informations synthétiques et contextualisées, dans une perspective d'aide à la décision.

Ce portail intègre plusieurs briques technologiques développées au sein d'un projet de R&D de l'institut dédié à la modélisation de solutions de mobilité : prévisions d'affluence aux arrêts de bus, modélisation du réseau multimodal, définition de nouveaux itinéraires en cas de perturbation, etc.

FOCUS

L'expertise de l'IRT SystemX est plébiscitée par deux Autorités Organisatrices de la Mobilité de premier plan : Île-de-France Mobilités et la Métropole de Lyon. L'institut les accompagne dans l'exploration de nouvelles solutions de mobilité, en amont depuis la simulation et l'exploration de scénarios prospectifs, jusqu'au prototypage et à l'expérimentation *in situ* de solutions opérationnelles. C'est notamment le cas dans l'expérimentation Paris-Saclay Autonomous Lab, au sein de laquelle SystemX a piloté la sûreté de fonctionnement et la sécurisation de l'infrastructure de système mais aussi à travers le projet LCE (Lyon Covoiturage Expérimentation) qui a permis le développement d'une solution de mise en interopérabilité des services de covoiturage basée sur une technologie blockchain.

INTERVIEW

Yann Briand,

Chef de projet et Référent de la thématique « Mobilité du futur », IRT SystemX

Quels sont les principaux axes adressés par l'IRT SystemX dans le domaine de la mobilité ?

Nos activités sont articulées autour de :

1. **La valorisation des données massives : notre objectif est de permettre aux territoires, aux opérateurs et aux usagers de comprendre et d'anticiper les pratiques et la disponibilité des vecteurs afin d'ajuster au mieux les offres de transport.**
2. **La modélisation : nous simulons le fonctionnement et les usages pour analyser les offres de mobilité existantes et anticiper le déploiement de nouveaux services, par exemple autonomes ou numériques.**
3. **L'optimisation : à l'échelle d'un territoire, la mobilité agrège une combinaison d'acteurs et d'opérateurs interdépendants mais souvent peu interconnectés. Cette combinatoire peut se révéler complexe sur des territoires très maillés tels que l'Île-de-France. Nos travaux portent sur l'optimisation de ces systèmes multimodaux afin d'en améliorer la disponibilité et la performance.**
4. **Les interfaces Homme-Machine : la multiplication des informations et des interactions impose une amélioration des parcours utilisateurs, au bénéfice des exploitants et des voyageurs.**

Pouvez-vous nous partager quelques exemples d'actifs développés dans le cadre des projets de R&D de l'institut ?

Je vais citer deux résultats emblématiques. Tout d'abord, le développement d'un outil d'aide à la décision pour l'exploitation des voies dynamiques de covoiturage, paramétré à partir d'un ensemble de travaux de modélisation. Destinée à un opérateur « traficien », cette console, basée sur un moteur de prévision de trafic, délivre des consignes ayant pour objectif d'optimiser le fonctionnement des infrastructures de transport. Un autre actif majeur est notre simulateur de foule, qui rejoue des perturbations au sein d'un réseau ferroviaire en modulant l'information délivrée aux usagers. Calibré à l'aide d'études comportementales, cet outil permet d'évaluer les scénarios d'information voyageurs afin d'améliorer la gestion des incidents et d'anticiper les reports de charge.

Comment envisagez-vous d'accompagner l'évolution du secteur de la mobilité, toujours plus connecté, dans les prochaines années ?

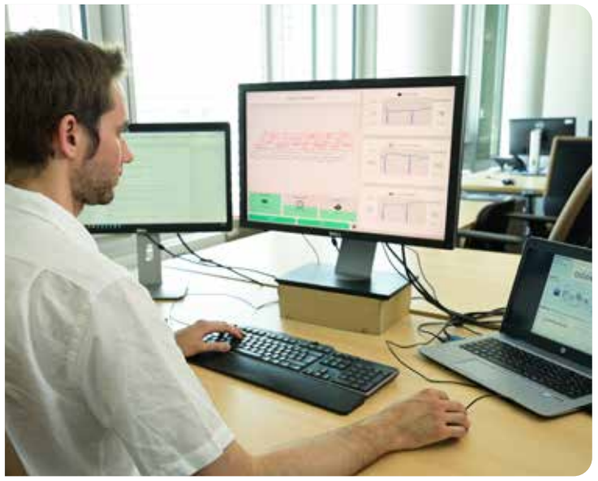
L'un des principaux enjeux est d'accompagner la décarbonation du secteur par le numérique. L'ensemble de nos travaux y concourent mais nous souhaitons aller encore plus loin avec nos partenaires en combinant l'amélioration de la performance et la réduction de l'empreinte environnementale. Nous renforcerons également nos activités autour de la conduite du changement en prototypant des solutions opérationnelles, basées en grande partie sur la technologie blockchain. Les mécanismes qui permettront d'accompagner efficacement les mutations des pratiques de mobilité constitueront un levier décisif pour les territoires et les citoyens.

Améliorer la détection des paramètres biométriques des occupants d'un véhicule par le *Deep Learning*

L'IRT SystemX a accompagné Faurecia, acteur mondial de l'industrie automobile, pour améliorer sa méthode de détection de paramètres biométriques des occupants d'un véhicule à partir de technologies innovantes d'intelligence artificielle (IA).

Les solutions classiques de détection de paramètres biométriques reposant sur le traitement du signal, initialement exploitées par Faurecia, ont fait leur preuve dans des environnements contrôlés (statiques, comme des environnements médicaux par exemple) mais perdent en efficacité lorsqu'elles sont mises en œuvre dans un environnement perturbé et bruité, notamment en mouvement. Le nombre de sources et la diversité des typologies de perturbations présentes dans un habitacle automobile rendent complexe la recherche de solutions par traitement du signal.

L'IRT SystemX a donc exploité les technologies d'IA pour proposer une solution alternative novatrice à Faurecia. Reposant sur un principe d'apprentissage et d'adaptation, l'IA rend possible la recherche de cas à la marge qui ne peuvent pas être traités par des solutions classiques déterministes. L'institut a développé une approche duale d'analyse des performances et des causes de dysfonctionnement de la solution classique exploitée par Faurecia, avec en parallèle une exploration de solution à base de *machine learning*. Cette solution est actuellement industrialisable et intégrable en condition réelle sur des véhicules.



FOCUS

EngageAI

Afin d'accélérer le transfert de compétences entre la recherche académique et l'industrie autour de l'IA, les huit IRT ont lancé en 2018, dans le cadre de l'association FIT (French Institutes of Technology), l'initiative commune EngageAI. Son ambition : accélérer l'usage de l'intelligence artificielle dans les produits et services industriels au service de la performance des entreprises. Les IRT, de par leur positionnement respectif et leur force de frappe collective, sont à même d'adresser le développement de l'IA et de ses multiples technologies pour soutenir la performance de chaque filière d'avenir de l'économie française. A l'échelle de FIT, EngageAI représente cinq projets d'accompagnement de type BoostAI, 25 projets collaboratifs ImproveAI, et sept initiatives AdvanceAI.

INTERVIEW

Ignacio Alvarez

Directeur de la R&D, Faurecia

Quel était l'objet de votre collaboration avec SystemX ?

Nous avons fait appel à l'institut pour nous accompagner dans l'amélioration de notre méthode de détection de paramètres biométriques des occupants d'un véhicule en nous appuyant sur des technologies d'intelligence artificielle. Externaliser une activité présentant un potentiel technologique aussi fort n'est pas évident pour un industriel. Cette première étape nous a permis de mieux cibler l'orientation de la solution à déployer et les compétences nécessaires à sa mise en œuvre.

Quels bénéfices en avez-vous retiré ?

SystemX nous a apporté un accompagnement de bout en bout : de la caractérisation de notre problématique à la mise au point d'une solution industrialisable. L'institut possède les compétences scientifiques et technologiques adaptées et les capacités nécessaires pour conduire un projet technologique multidisciplinaire et répondre aux attentes du monde industriel. Ce savoir-faire est rare ! L'institut a répondu à notre besoin en nous apportant notamment une prédiction en temps réel sur les données tout en intégrant des contraintes d'embarquabilité. Notre collaboration a amené deux impacts très forts pour Faurecia : la mise au point d'une solution industrialisable et l'acquisition d'une énorme visibilité technologique sur l'IA pour les systèmes embarqués, grâce au transfert de connaissances dont nous a fait bénéficier l'institut.

Encapsuler le savoir humain dans les systèmes d'intelligence artificielle industriels

SystemX s'impose comme l'un des acteurs R&D incontournables en France dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA). Non seulement les problématiques scientifiques et technologiques liées à l'IA et aux sciences des données innervent une douzaine de projets de recherche portés par l'IRT, mais SystemX est également à l'initiative d'un programme de R&D prospectif particulièrement ambitieux : « Intelligence Artificielle et Ingénierie Augmentée » (IA²), lancé début 2020 et réunissant une vingtaine de partenaires industriels et académiques pour cinq ans sur le thème de l'hybridation de l'IA. SystemX est également l'opérateur du volet technologique du Grand Défi du Conseil de l'Innovation sur le thème « Sécuriser, certifier et fiabiliser les systèmes fondés sur l'intelligence artificielle ».

A travers six projets de R&D collaboratifs à finalités industrielles et un projet amont de mise en commun des résultats scientifiques, le programme IA² ambitionne de doter les équipes d'ingénierie qui conçoivent des systèmes complexes, de nouveaux outils tirant partie des nouvelles approches issues de l'IA. En développant des solutions hybridant les trois approches existantes en matière de modélisation et de simulation (modélisation physique des systèmes, modèles de connaissances exprimées par les experts métier, modèles d'apprentissage basés sur les données), il vise à optimiser leurs performances opérationnelles et à concourir à la nécessaire transformation des expertises.

IA² Intelligence artificielle et ingénierie augmentée

INTERVIEW

Marc Schoenauer

Directeur de recherche, centre Inria Saclay – Île-de-France, coordinateur du programme IA²

A quels enjeux technologiques et scientifiques répond le programme IA² ?

L'ambition du programme IA² est double : du point de vue technologique, il vise à apporter aux industriels qui conçoivent, développent et valident des systèmes, les avancées les plus récentes en termes d'intelligence artificielle, afin qu'ils les appliquent à leurs métiers. Du point de vue scientifique, il ambitionne d'hybrider des domaines scientifiques tels que la simulation, les systèmes multi-agents, la sémantique et les ontologies ou encore les interfaces homme-machine et de les faire profiter des dernières avancées de l'IA. L'IA est en train de devenir un outil universel et je suis convaincu que le futur de l'IA est pluridisciplinaire.

Quelles ont été vos motivations à rejoindre ce projet ?

Ce qui m'a particulièrement intéressé est que ce programme s'attaque à de véritables cas d'usage industriels, à travers six projets. Les partenaires industriels ont, dans chacun des projets, identifié des verrous scientifiques à lever et sont conscients que cela nécessite des travaux de recherche fondamentale importants. Il s'agit donc d'hybrider l'IA avec d'autres disciplines tant fondamentales qu'applicatives. Cela impliquera également, selon moi, de croiser différentes techniques d'IA entre elles (réseaux profonds, raisonnement logique, approches sémantiques, etc.). Mon rôle, en tant que coordinateur scientifique du programme IA², est de mettre en correspondance ces différentes techniques, de jouer en quelque sorte le chef d'orchestre.

Quelles actions envisagez-vous de mettre en place dans l'Advance IA² dont vous assurez la coordination scientifique ?

Nous prévoyons notamment l'organisation d'une grande conférence à laquelle d'autres initiatives comparables en France et en Europe seront invitées. Mais également, la rédaction de livres blancs et d'états de l'art, ainsi que l'animation de l'ensemble du programme doctoral du programme IA².

FOCUS

Grand défi « sécuriser, certifier et fiabiliser les systèmes fondés sur l'IA »

*L'un des cinq Grands Défis choisis par le Conseil de l'Innovation en 2019 porte sur la transparence et l'auditabilité des systèmes autonomes à base d'IA. Baptisé **« Sécuriser, certifier et fiabiliser les systèmes fondés sur l'intelligence artificielle »**, ce programme vise à développer les capacités nécessaires pour observer, comprendre et auditer le fonctionnement de ces systèmes tout en développant des approches démontrant le caractère explicable de leur fonctionnement. L'IRT SystemX est en charge du volet technologique de ce Grand Défi qui se matérialise par un programme d'une durée de quatre ans, hébergeant à ce jour sept projets et impliquant une dizaine de partenaires.*

Imaginer

le monde numérique de demain

> ***La structuration et l'animation de l'activité scientifique est un point central de la stratégie de l'IRT SystemX, qui se positionne à la frontière des mondes académiques et industriels.***

Patrice Aknin
Directeur Scientifique, IRT SystemX
@AkninP

La structuration et l'animation de l'activité scientifique est un point central de la stratégie de l'IRT SystemX, qui se positionne à la frontière des mondes académiques et industriels. Cette structuration est gage de la réalisation de travaux à l'état de l'art. Elle facilite aussi les interactions avec les académiques, tout en démontrant aux industriels notre capacité à dialoguer avec les meilleurs chercheurs. Afin de conduire au mieux nos activités de recherche, nous avons constitué une masse critique de compétences dans huit domaines scientifiques et technologiques de pointe : science des données et IA, interaction et usage, calcul scientifique, optimisation, ingénierie système, sûreté de fonctionnement, sécurité numérique et blockchain, IoT et réseaux. Ces compétences nous permettent de répondre à de nombreux défis, dont les plus récents concernent par exemple l'hybridation de l'apprentissage statistique avec les modèles physiques, la chaîne numérique de la fabrication additive, les conditions du développement d'une IA de confiance, la maintenance prédictive, la simulation multi-agents pour une mobilité plus durable, la cybersérurité des communications inter-véhiculaires, la cryptographie post-quantique ou encore la validation du véhicule autonome. Ces sujets alimentent notre feuille de route scientifique et technologique et guident nos activités.

Toutes ces compétences portées par nos ingénieurs-chercheurs, s'intriquent avec le tissu académique afin d'appréhender les sujets de demain. Nous sommes fiers de compter aujourd'hui 35 laboratoires parmi nos partenaires académiques, avec des établissements de premier plan tels que l'Université Paris-Saclay, Inria Saclay - Île-de-France, CentraleSupélec, le CNRS, l'ENS Paris-Saclay et Télécom Paris. Ce noyau académique participe à la réussite de nos projets de R&D, en nous apportant des connaissances et savoir-faire pointus pour répondre aux grands enjeux sociétaux et technologiques de notre temps.
La collaboration de ces académiques avec nos ingénieurs-chercheurs, doctorants et partenaires industriels est le gage d'une véritable transmission d'expertises au sein de l'institut et de son écosystème.

En 2019, notre institut a été reconnu équipe d'accueil à l'école doctorale STIC (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication) et membre invité à la Graduate School Computer Science de l'Université Paris-Saclay. Nous sommes également référencé au sein de Plug-in-Labs, la base de données de l'Université Paris-Saclay rassemblant plus de 500 laboratoires et plateformes technologiques du plateau de Saclay travaillant sur les innovations de demain. Cette reconnaissance de la part des acteurs de la recherche académique renforce notre ancrage au sein du paysage français de la recherche.

Dans le but d'élargir le champ scientifique de nos travaux de recherche, nous avons lancé en 2020 le dispositif « Recherches Exploratoires », sur financement propre. A l'initiative des ingénieurs-chercheurs de l'institut, il offre la possibilité de mener à bien des recherches amont sur des sujets d'avenir en collaboration avec des partenaires académiques d'excellence. Ces recherches exploratoires alimenteront la feuille de route de l'institut et aideront à la construction de nouveaux projets de R&D. Elles constituent aussi un excellent vecteur pour construire de nouvelles alliances, telles que des laboratoires communs, des initiatives communes de recherche et des chaires co-opérées.
D'ores et déjà, certaines actions emblématiques réalisées en collaboration avec nos partenaires académiques nous rendent très fiers, comme par exemple l'animation d'une chaire dédiée à la mobilité urbaine de demain (chaire Anthropolis) avec CentraleSupélec, la création d'un grand collectif de recherche académique sur les défis de la blockchain (BART) avec Télécom Paris, Télécom SudParis et Inria, et la conduite d'activités d'ingénierie de la formation pour soutenir la montée en compétences de nos collaborateurs et du tissu industriel français. Elles sont à découvrir dans les pages qui suivent.

Imaginer la mobilité urbaine de demain : la chaire Anthropolis

Inédite en France, portée par SystemX et CentraleSupélec et financée par cinq partenaires industriels (Alstom, ENGIE, RATP, Renault, SNCF), la chaire Anthropolis a rassemblé pendant quatre ans une équipe pluridisciplinaire qui s'est attachée à placer l'humain au centre des innovations pour les systèmes de mobilité urbaine.

Bernard Yannou

Directeur du Laboratoire Génie Industriel, CentraleSupélec

« Le Laboratoire Génie Industriel (LGI) de CentraleSupélec est un partenaire de la première heure de l'IRT SystemX. Au travers de projets multi-partenaires dans les domaines de l'automobile et de l'aéronautique, mais aussi au travers de la chaire Anthropolis sur les nouveaux usages de la mobilité urbaine. Ce partenariat s'est traduit par sept thèses soutenues et cinq en cours. L'innovation ouverte pratiquée par l'institut permet aux chercheurs du LGI de tirer parti d'une animation scientifique de qualité sur des thèmes comme l'ingénierie système, la blockchain ou la mobilité du futur. En contrepartie, SystemX bénéficie de l'expertise des chercheurs du LGI, d'ouvertures sur Centrale Pékin et Centrale Casablanca et d'opportunités de dépôts de projets au nom de CentraleSupélec. »

Les activités de recherche de la chaire Anthropolis ont porté sur des éco-innovations pour l'aménagement urbain et périurbain durable au service du citoyen et des collectivités, avec la prise en compte des interactions entre des systèmes de mobilité (des individus et des marchandises) et les autres systèmes. Ont ainsi été explorées la conception, la modélisation et l'optimisation de services de mobilité partagée, pouvant intégrer des véhicules autonomes.

Quatre thèses, des projets d'innovation ambitieux et des collaborations nationales et internationales

Les travaux menés par l'équipe de la chaire Anthropolis ont contribué à faire avancer l'état de l'art dans le domaine de la mobilité urbaine :

- Deux thèses ont été menées autour de la modélisation de l'expérience voyageur et de la synchronisation des flux de passagers et de marchandises dans les systèmes de mobilité urbaine. Les résultats de ces travaux ont fortement contribué à faire avancer les travaux de recherche de la chaire. En combinant les points de vue de la conception de l'expérience-utilisateur et du transport, la première thèse a contribué à approfondir la compréhension de la manière dont les voyageurs vivent leur voyage et les problèmes qu'ils rencontrent. La seconde thèse a permis de proposer des modèles algorithmiques pour analyser l'impact des systèmes de mobilité partagé et aider à leur mise en œuvre opérationnelle.
- La chaire s'est également impliquée dans la direction de deux thèses complémentaires sur la conception, la modélisation et la simulation des services de robot-taxi et sur l'optimisation des opérations pour des robots de livraison en milieu urbain. Ces thèses ont permis d'étendre la vision de la chaire et d'ajouter une compréhension approfondie de la conception de services de transport basée sur des véhicules autonomes.
- L'encadrement de deux projets d'Innovation menés avec des étudiants de CentraleSupélec consistant en une exploration systématique des usages et situations insatisfaisantes ont fait émerger des « poches de valeur ».
- De nombreuses collaborations nationales et internationales ont été mises en place, parmi lesquelles peuvent être citées celles avec l'équipe Square Paris, la chaire MADP (Mutations de l'Action publique et du Droit public) de Sciences Po, l'Université technique d'Eindhoven (Pays-Bas), l'Austrian Institute Of Technology (AIT de Vienne), la plateforme de recherche en mobilité autonome TUMCREATE (Singapour), et l'atelier prospectif « la vie robomobile » animé par le ministère des transports. Ces collaborations ont permis d'enrichir les réflexions menées, en ajoutant des points de vue pluridisciplinaires et internationaux aboutissant à des publications communes avec des chercheurs d'autres institutions.
- Enfin, au total, ce sont 35 publications parues dans des revues scientifiques ou à l'occasion de conférences.

INTERVIEW

Jakob Puchinger

Titulaire de la chaire Anthropolis,

IRT SystemX - CentraleSupélec

Dans quel contexte s'était inscrite la création de la chaire Anthropolis ?

Le paysage de la mobilité urbaine est en pleine mutation. Ces dernières années, nous observons une prise de conscience générale de l'impact environnemental négatif de la mobilité et une envie partagée de rendre la vie quotidienne dans nos villes plus humaine et plus agréable. Les bouleversements technologiques liés à l'automatisation et l'électrification des voitures, ainsi que les nouvelles offres de micro-mobilité induiront des changements dans notre système de mobilité. Nous avions donc identifié, avec nos partenaires industriels, le besoin d'explorer ce champ dans le cadre de la chaire Anthropolis.

Quels étaient ses axes de recherche prioritaires ?

Nous avons étudié trois axes de recherche :

- **L'axe « Comprendre les usages » s'intéressait aux approches centrées usagers sur un terrain donné (Ex : le Plateau de Saclay ou La Défense) de la mobilité quotidienne des personnes. Cette mobilité se caractérise par des déplacements contraints ou non contraints, quotidiens ou occasionnels. Nos recherches ont conduit à la caractérisation de la qualité et des problèmes de voyage dans une vision « porte-à-porte » des profils de voyageurs, et à la modélisation des expériences-voyageurs.**
- **L'axe « Prospective et Innovation » était dédié aux objets de rupture pouvant engendrer des changements radicaux dans la mobilité urbaine. Nous nous sommes intéressés à la manière de concevoir des scénarios prospectifs de mobilité à l'horizon 2030, et nous avons introduit une vision individuelle de celle-ci en nous appuyant sur la construction de *personae*.**
- **L'axe « Analyse d'impact » au sein duquel nous avons développé des modèles et des méthodes d'optimisation et de simulation prenant en compte les objectifs des usagers et des opérateurs de ces systèmes. Différentes hypothèses de transformation de la mobilité ont été examinées, qu'il s'agisse de l'évolution des écosystèmes de mobilité, de la transformation des modèles d'affaires, ou de la soutenabilité des services et systèmes de mobilité.**

Quel est le résultat le plus probant que vous ayez obtenu ?

Il s'agit de notre analyse de systèmes de la mobilité partagée avec un focus sur les véhicules autonomes électriques partagés : nous avons réussi à aborder ce sujet d'un point de vue systémique en prenant en compte et en combinant des aspects qualitatifs (perception des usagers et intégration dans le système de mobilité) et quantitatifs (optimisation, simulation et impact sur le trafic urbain). Plusieurs publications importantes ont découlé de cette analyse, notamment une publication co-signée par trois doctorants de la chaire.

FOCUS

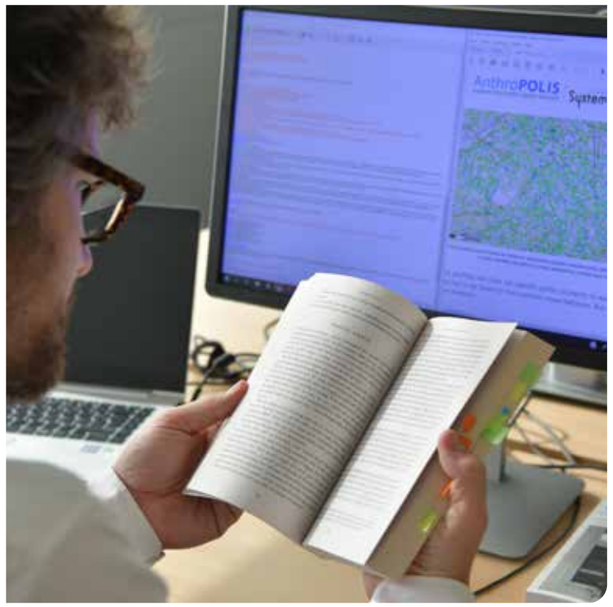
Un prolongement des travaux de la chaire

La chaire Anthropolis a initié la prolongation de ses travaux d'exploration sur les défis de la mobilité urbaine de demain pour une durée de quatre ans.
Cette « 2e édition » identifiera les méthodes et outils fondamentaux permettant de prendre en compte les besoins du citoyen-usager, de la ville et de la collectivité, dans le processus de conception des systèmes et des services de mobilité. Elle accordera une place importante à la réduction des émissions de gaz à effet de serre produites par les déplacements de biens et de personnes, ainsi qu'à l'amélioration de la qualité de l'air.

Carte d'identité de la 2e édition de la chaire

- Co-portage avec le laboratoire LGI de CentraleSupélec, Université Paris-Saclay
- Durée : 4 ans, démarrage en 2019
- Équipe : 2 chercheurs seniors, 4 doctorants
- 3 axes de recherche : Mobilité future et vie urbaine, MaaS (*Mobility as a Service*), Infrastructures du futur
- 4 partenaires industriels : EDF, Engie, Nokia Bell Labs, Renault
- 1 partenaire institutionnel : Communauté d'agglomération Paris-Saclay

AnthroPOLIS HUMAN CENTERED MOBILITY | SystemX | CentraleSupélec



Mutualiser les compétences et lever les verrous technologiques de la blockchain : le collectif BART

Fort d'une trentaine de chercheurs issus de SystemX, Inria, Télécom Paris et Télécom SudParis, BART (Blockchain Advanced Research & Technologies) constitue le plus important collectif de recherche académique dédié à la blockchain en France.

L'initiative BART est née de la volonté commune de SystemX, Inria, Télécom Paris et Télécom SudParis de fédérer l'écosystème francilien de recherche autour de la blockchain. Depuis 2018, ce collectif de recherche académique francilien coordonne ses actions autour d'une feuille de route commune visant à lever les verrous scientifiques et technologiques de la blockchain, en adéquation avec les besoins sociétaux et industriels. Ses travaux de recherche s'articulent autour de six axes : les modèles théoriques, le passage à l'échelle et les outils de monitoring, la sécurité, les architectures, la confidentialité des données et les modèles économiques ainsi que la régulation. BART est également à la manœuvre d'actions communes d'animation scientifique auprès de son vaste écosystème.

Cette collaboration étroite permet de tirer parti des compétences et efforts de recherche de chacun des membres et de les mettre au service de défis majeurs pour la société numérique.

BART
Blockchain
Advanced Research
& Technologies

INTERVIEW

Gérard Memmi
Chef du département Informatique et Réseaux, Télécom Paris, Professeur

Quelles sont les forces du collectif BART ?

Il s'agit d'une initiative bien plus originale qu'un projet de recherche classique ou que la création d'un laboratoire commun. Nous avons bâti une véritable communauté scientifique en parvenant à réunir une centaine de spécialistes principalement localisés en Ile-de-France (partenaires de BART, Sorbonne Université, Ecole polytechnique, Mines ParisTech, CEA, etc.), via l'organisation de séminaires de travail bimensuels ouverts à tout public ainsi qu'un workshop annuel où industriels et scientifiques peuvent échanger. Je pense que l'une de nos forces réside vraiment dans la qualité des thématiques de recherche que nous avons identifiées et qui résistent aujourd'hui à l'épreuve du temps.

En quoi le collectif BART est-il unique ?

Nos quatre établissements ont été parmi les tout premiers à vouloir faire bouger les lignes dans le domaine de la blockchain. Notre collectif est unique de par son envergure et son format. Il a rapidement gagné en notoriété, et nous sommes fiers d'avoir vu BART nommé dans un rapport du Sénat sur la blockchain, suite au workshop organisé en 2018 et à de nombreux échanges avec quelques élus. Nous avons également co-signé un rapport sur les verrous technologiques de la blockchain, qui est actuellement sur la table de travail de trois Ministères.

Pouvez-vous nous partager quelques résultats emblématiques ?

Donnons juste deux courts exemples : l'un de nos doctorants a récemment développé et mis au point un protocole blockchain à un faible coût en communication (« scalable » en nombre de nœuds) grâce à une méthode de partitionnement (« sharding »). Ce protocole est actuellement à l'étude pour être transféré chez un partenaire de SystemX. Un autre travail important porte sur l'utilisation de techniques de visualisation pour explorer le fonctionnement dynamique d'applications de la blockchain.

Quelles perspectives pour les prochaines années ?

Nous sommes déjà en train d'imaginer une deuxième édition de BART pour les années à venir, incluant des industriels pour réfléchir à des problématiques telles que l'interopérabilité des blockhains. De nouvelles thèses sont également envisagées et BART restera une initiative précieuse pour nos chercheurs.

Une offre unique d'ingénierie de formation

L'IRT SystemX a développé ses activités d'ingénierie de formation afin de favoriser la dissémination des connaissances et compétences développées au sein de ses projets de R&D, auprès de ses collaborateurs et de ses partenaires industriels.

L'institut renforce son rôle d'accélérateur de la transformation numérique, en proposant une offre d'ingénierie de formation unique, articulée autour de ses huit domaines scientifiques et technologiques (Sciences des données et IA, Calcul Scientifique, Interaction et usage, Optimisation, Ingénierie système, sûreté de fonctionnement, Sécurité numérique et blockchain, IoT et réseaux) et de leurs interfaces. Les modules de formation continue sont construits en association avec des partenaires académiques et industriels d'excellence.

Passport@SystemX : accompagner l'évolution des collaborateurs de l'IRT SystemX

L'institut soutient l'apprentissage continu de ses ingénieurs-chercheurs au travers de la mise en place d'un socle commun de compétences. Passport@SystemX, lancé en 2019, permet à l'ensemble des collaborateurs de suivre une formation générale autour de ses huit domaines scientifiques et technologiques et de diversifier ainsi leurs compétences. Son objectif est de faciliter les évolutions de carrière au sein de l'institut tout en consolidant un ADN commun d'expertises. Plus d'une cinquantaine de collaborateurs de l'institut ont déjà été formés dans le cadre de cette offre.

Campus@SystemX : soutenir la montée en compétences des acteurs industriels

Cette offre de formation continue et certifiante est co-construite avec les partenaires académiques ou avec certains partenaires industriels de l'institut opérant déjà de la formation. Elle vise à accélérer le développement des compétences d'acteurs industriels en leur offrant un accès privilégié à certains résultats des projets de R&D de l'institut transformés en briques pédagogiques. Des premières formations ont déjà été dispensées dans les domaines de la blockchain et de la cybersécurité, en partenariat avec Télécom Évolution.

« L'IRT SystemX propose une offre de formation adaptée aux enjeux de la transformation numérique, répondant aux problématiques actuelles du monde industriel. Notre ambition : mettre au service du monde industriel des résultats développés dans nos projets de R&D sous forme de modules de formation couvrant l'ensemble des domaines scientifiques et technologiques de l'institut et leurs interfaces. »

Alexandre Bekhradi, *Responsable Ingénierie de Formation, IRT SystemX*

FOCUS

Depuis 2020, SystemX opère le projet de recherche IFI (Ingénierie de Formation Innovante) qui structure sa méthodologie d'ingénierie de formation. Son objectif principal est d'identifier les briques de connaissances et les technologies valorisables issues de ses projets de R&D ainsi que les approches pédagogiques les plus adaptées aux évolutions d'expertise attendues par de nombreux secteurs industriels.

Accompagner

des parcours remarquables

Un cadre propice à la formation doctorale

La formation doctorale est un levier essentiel pour l'IRT SystemX qui développe des travaux doctoraux au sein de ses projets de R&D. L'institut permet à ses doctorants de se spécialiser dans un domaine porteur d'avenir après l'obtention d'un diplôme de Master ou d'ingénieur. Encadrés par des chercheurs et enseignants-chercheurs de nos laboratoires partenaires, par un ingénieur-chercheur de l'IRT et au contact d'acteurs industriels impliqués sur des thématiques comme la Mobilité et les Transport autonome, l'Industrie du futur, la Sécurité et la Défense, l'Environnement et le Développement durable, nos doctorants évoluent dans un environnement innovant et dynamique, où ils se constituent un réseau solide et développent une expertise unique.
Depuis sa création, l'institut a accompagné plus de 70 doctorants et noué des partenariats structurants avec plusieurs écoles doctorales auprès desquelles SystemX a obtenu le statut d'unité d'accueil.
Découvrez le retour d'expérience de deux doctorants de SystemX.

INTERVIEW

Reza Vosooghi

Projet *: MSM (Modélisation de Solutions de Mobilité)*

Laboratoire partenaire *: LGI (Laboratoire Génie Industriel), CentraleSupélec*

Sujet de thèse *: Conception, modélisation et simulation des services Robot-Taxi*

Thèse réalisée entre 2016 et 2019

Que retenez-vous de votre doctorat à l'IRT SystemX ?

L'institut m'a donné l'opportunité de travailler au sein d'un projet de R&D pluridisciplinaire avec des acteurs industriels et académiques experts de la mobilité et de la construction automobile. Leur savoir-faire et leur expérience m'ont permis d'acquérir de nombreuses connaissances théoriques et pratiques dans les domaines de la modélisation de nouveaux services de déplacements, de l'analyse des données, des études comportementales des usagers de transport, de l'optimisation, du *machine learning* et de la programmation.

Quel rôle a joué l'institut pour la suite de votre carrière ?

L'IRT est connu pour ses expertises dans des domaines émergents. C'est grâce à cette réputation et aussi à l'aide de la Direction Scientifique de l'institut que j'ai pu rejoindre Systra, une entreprise de référence dans le domaine du transport, partenaire de SystemX. J'y exerce actuellement le poste de responsable d'affaires qui consiste à gérer la gestion et le bon déroulement des missions d'étude en planification des transports. J'interviens également dans le domaine de la modélisation des déplacements et des systèmes de transport.

Pouvez-vous décrire SystemX en 3 mots ?

Numérique, Innovation, Collaboration

INTERVIEW

Manon Césaire

Projet *: EPI (Evaluation et Performance des systèmes de décisions à base d'IA)*

Laboratoire partenaire *: LIP6, Sorbonne Université*

Sujet de thèse *: Génération de scénarios pour l'apprentissage et la validation d'une fonction de décision pour le pilotage de véhicules autonomes ou l'aide au pilotage de navires*

Thèse démarrée en 2019

Quel est le sujet de votre thèse ?

Je m'intéresse à la génération de scénarios pour l'apprentissage et la validation d'une fonction de décision pour le pilotage de véhicules autonomes. La collecte de données de scénarios de conduite routière en situation réelle (relatives par exemple au nombre de voies, aux véhicules environnants ou encore aux conditions météorologiques) est très coûteuse. Une solution consiste à générer automatiquement des scénarios réalistes, respectant les contraintes physiques relatives à l'environnement et aux véhicules à proximité, pour répondre aux attentes de la conduite autonome et couvrir le plus de situations possibles afin d'anticiper des dangers potentiels.
Pour ce faire, j'exploite des méthodes d'attaques adverses grâce à des algorithmes d'apprentissage par renforcement. Ces méthodes désignent des algorithmes de *machine learning* qui vont tenter de « tromper » des modèles (par exemple les réseaux de neurones) en fournissant des informations erronées. Je suis ainsi en capacité, sur la base de scénarios existants, d'en générer de nouveaux qui peuvent induire en erreur le conducteur autonome grâce aux différentes attaques adverses mises en place, tout en maximisant la fonction de perte du système de décision prise entre les deux scénarios.

Pourquoi avez-vous décidé d'effectuer votre doctorat à l'IRT SystemX ?

J'ai réalisé mon stage de Master 2 Data Science au sein de l'institut. C'est donc tout naturellement que j'ai souhaité poursuivre mon cursus au sein de l'équipe Science des données et IA et mettre à profit mes compétences en mathématiques et en informatique. Les collaborations entre les mondes académiques et industriels au sein de l'institut sont aussi très instructives. Par ailleurs, la conduite autonome est un sujet de pointe qui m'anime tout particulièrement car elle s'apprête à modifier radicalement le rapport des utilisateurs à leur véhicule. Il est donc indispensable d'avoir une sécurité renforcée et d'éviter toute défaillance de ce type de véhicule. J'avais envie d'apporter ma pierre à l'édifice dans ce domaine en réalisant mon doctorat au sein de l'institut.

Pouvez-vous décrire SystemX en 3 mots ?

Collaboration, Compétences, Convivialité

Des parcours remarquables

Travailler chez SystemX, c'est rejoindre un institut de recherche technologique novateur, animé par une ambition audacieuse : accélérer la transformation numérique des industries, des services et des territoires. Chaque jour, nos collaborateurs imaginent et conçoivent le monde numérique de demain, aux côtés de partenaires académiques et industriels de renom. Ensemble, ils adressent de nouveaux usages qui répondent aux grands enjeux de notre temps, sociétaux et technologiques. Découvrez les témoignages de six collaborateurs et alumnis qui racontent leurs métiers et leurs parcours au sein de l'institut :

Pierpaolo Cincilla
Expert cybersécurité,
Groupe Renault

J'ai rejoint l'IRT SystemX en octobre 2014 en tant qu'ingénieur-chercheur, avant d'évoluer par la suite vers un poste de chef de projet. Il s'agissait de ma première expérience professionnelle après l'obtention de ma thèse. L'institut m'a permis de garder un pied dans le monde de la recherche, tout en travaillant avec des industriels sur des thématiques passionnantes.

À mon arrivée, j'ai eu la chance d'être intégré dans un projet impliquant des partenaires ouverts et passionnés. J'ai très rapidement eu l'opportunité de monter en compétences, de participer au lancement de deux projets sur des sujets liés à la sécurité des véhicules connectés et autonomes et de prendre le pilotage de l'un d'eux. L'environnement dynamique de l'institut, qui a pratiquement triplé de taille entre mon arrivée et mon départ, m'a aussi permis de pousser mes idées et de prendre de nombreuses initiatives.

En 2018, j'ai quitté l'institut pour saisir une belle opportunité professionnelle chez Renault. Le projet dans lequel je me suis investi, l'énergie que j'ai engagée, et le cadre stimulant de l'institut ont joué un rôle très important sur mon développement professionnel. L'IRT a représenté pour moi un lieu d'observation privilégié pour rentrer en contact avec les réalités académiques et industrielles.

Théo Chelim
Ingénieur-chercheur,
IRT SystemX

J'ai intégré l'IRT SystemX en 2017 à la fin de mon Master, afin de contribuer à un projet innovant dans le domaine de la cybersécurité, alliant recherche et développement. Ce projet m'a permis de comprendre les enjeux technologiques qui touchent le secteur du transport autonome.

J'ai conscience aujourd'hui que c'est en partie grâce à la confiance que m'a donné l'institut que j'ai pu monter en compétences sur divers sujets innovants tels que les systèmes embarqués, les enjeux de cybersécurité ou encore les problématiques d'autonomie des véhicules. Le cadre est idéal pour apprendre auprès de personnes très compétentes dans de nombreux domaines, qu'il s'agisse des ingénieurs-chercheurs de SystemX mais également des partenaires. C'est cette synergie entre le monde académique et le monde industriel qui m'a séduit et qui continue de me stimuler chaque jour.

Gwenaëlle Berthier
Chef de projet,
IRT SystemX

Après plusieurs expériences professionnelles dans les secteurs privés et publics et notamment dans le domaine des risques climatiques, j'ai intégré l'IRT SystemX, berceau de la transformation numérique au cœur de Paris-Saclay. En adéquation avec ma vision transversale de l'innovation, c'est une structure dans laquelle j'étais sûre de m'enrichir, car elle traite des projets de R&D très divers, et très souvent pionniers. Au sein de mon projet, nous travaillons sur l'évaluation de l'apport de l'intelligence artificielle (IA) dans le cadre des véhicules autonomes automobiles et maritimes.

En tant que chef de projet, ma mission principale est de mettre en musique les développements de ces différentes activités, de la manière la plus harmonieuse possible. Au sein de notre équipe-projet toujours très engagée, nous unissons les compétences de nos experts provenant de tous horizons. Les synergies sont essentielles pour que ce type de projets puissent réellement fonctionner et permettre les succès qui rejailliront sur l'IRT SystemX et l'ensemble de nos partenaires.

Rim Kaddah
Responsable d'équipe,
IRT SystemX

J'ai découvert l'IRT SystemX durant mes années de thèse. L'institut était alors partenaire du laboratoire dans lequel j'effectuais ma thèse, mais je ne connaissais pas forcément son fonctionnement. J'ai décidé de le rejoindre en 2017 en tant qu'ingénieure-chercheuse afin de poursuivre mes travaux dans le domaine de l'optimisation des réseaux énergétiques au sein d'un projet qui regroupe des grands groupes, des PME et des acteurs académiques de haut niveau. Les projets auxquels j'ai participé par la suite et dans lesquels je suis toujours impliquée ne manquent pas de susciter mon intérêt.

Je suis ravie de mon expérience. L'IRT m'a offert l'opportunité d'évoluer professionnellement d'un poste d'ingénieure-chercheuse au poste de Responsable de l'équipe « Calcul scientifique et Optimisation », et de travailler et côtoyer des ingénieurs-chercheurs qui travaillent sur des sujets de pointe présentant un fort potentiel industriel et scientifique.

Sandra Dausend
Process Owner,
Renault

Je me suis investie pendant quatre ans au sein de plusieurs projets de l'IRT SystemX dans le domaine de l'expérience utilisateur pour la conduite autonome en tant qu'ingénieure-chercheuse puis architecte projet. J'ai eu la chance d'occuper un rôle très transverse et de coordonner un groupe de travail adressant des thématiques variées (expérience utilisateur, visualisation de données, conception et ergonomie des interfaces homme-machine). Ce que je retiens de l'institut, c'est le soutien important dont j'ai bénéficié : mes idées étaient encouragées, mises en œuvre et valorisées. Chacun peut contribuer à son échelle au développement et au rayonnement de l'IRT et partager sa vision. J'ai aussi beaucoup apprécié d'être immergée au sein d'un environnement très riche sur les plans académiques et industriels, qui m'a permis de monter en compétences dans le domaine de la recherche.

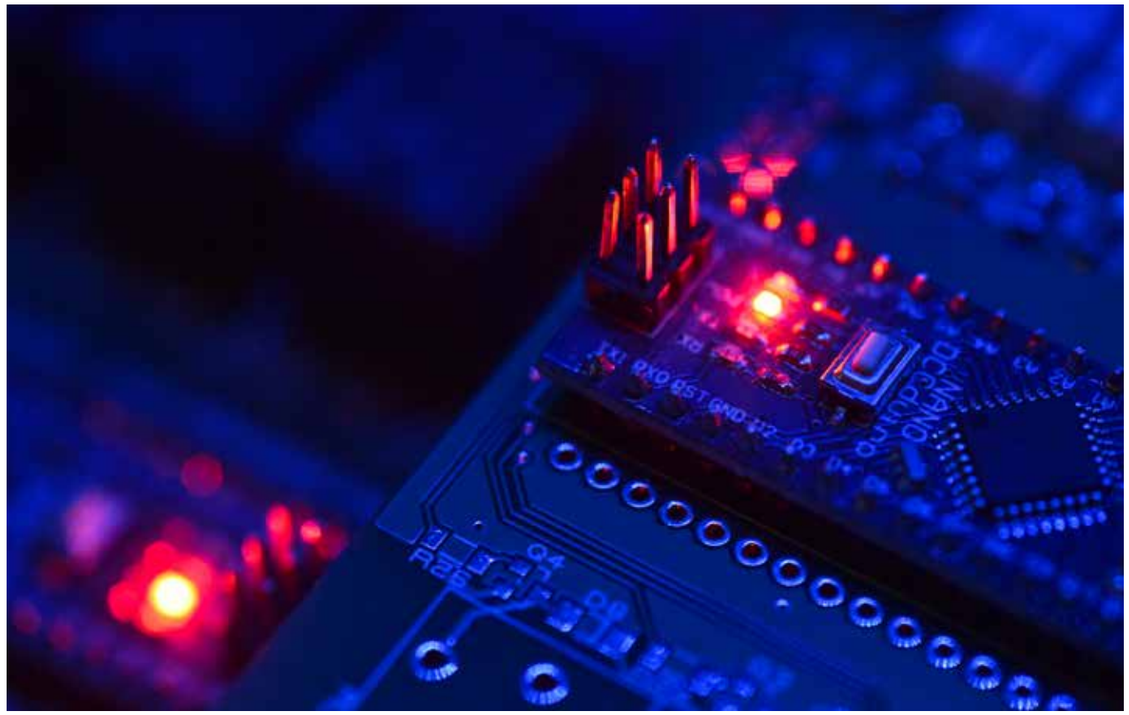
SystemX aura joué un rôle clé dans ma carrière. En effet, les connaissances de l'automobile embarquée et de l'expérience utilisateur que j'ai acquises m'ont permis de rejoindre Renault en tant que pilote process dans le domaine des services connectés.

Makhlouf Hadji
Chercheur Senior, Responsable Scientifique
de l'axe Infrastructures numériques,
IRT SystemX

S'appuyer sur la diversité des activités de recherche est la clé pour confronter des avis divergents et les réunir sur une base commune pour aider à la formulation des sujets scientifiques. J'ai rejoint SystemX en 2013 avec l'ambition de travailler sur des projets collaboratifs autour des thématiques du cloud, des réseaux, de l'edge computing et de l'optimisation. Les collaborations avec des chercheurs d'horizons divers, en interne comme en externe, m'ont permis d'enrichir ma connaissance des mondes industriels et académiques entre lesquels l'institut positionne ses offres et ses collaborations.

J'ai soutenu mon Habilitation à Diriger des Recherches (HdR) en 2017. C'est le résultat de plusieurs années de confrontation, de partage d'idées et de sujets de recherche dans les thématiques précitées, rendu possible en grande partie grâce aux efforts fournis et aux missions scientifiques accomplies au sein de SystemX.

SystemX, un institut de référence pour l'analyse, la modélisation, la simulation et le management de la décision



Accélérer la transformation numérique

Basé sur le plateau de Saclay, à Lyon et à Singapour, SystemX est un Institut de recherche technologique (IRT) expert en analyse, modélisation, simulation et aide à la décision appliqués aux systèmes complexes. Dédié à l'ingénierie numérique des systèmes du futur, il coordonne des projets de recherche partenariale, réunissant académiques et industriels dans une perspective multi-filière. Ensemble, ils s'appliquent à lever des verrous scientifiques et technologiques majeurs de 4 secteurs applicatifs prioritaires : Mobilité et Transport autonome, Industrie du futur, Défense et Sécurité, Environnement et Développement durable.

Au travers de projets orientés cas d'usage, les ingénieurs-chercheurs de SystemX répondent aux grands enjeux de notre temps, sociétaux et technologiques, et contribuent ainsi à l'accélération de la transformation numérique des industries, des services et des territoires.

Vers une société plus durable, plus résiliente et plus souveraine

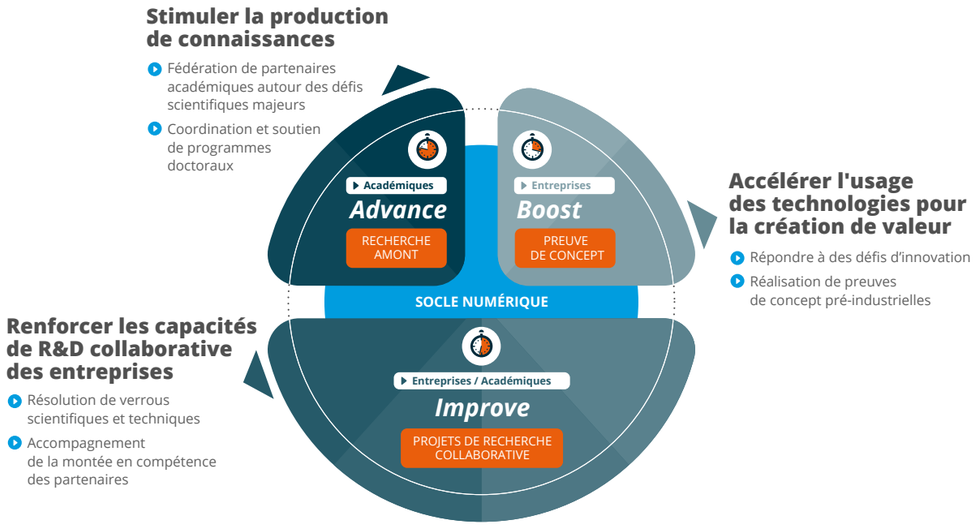
L'institut a mis en place trois indicateurs qui lui servent de cap pour prioriser les problématiques à adresser avec ses partenaires : la résilience, la souveraineté et la soutenabilité. Ces labels de qualité lui garantissent d'adresser les enjeux actuels qui contribuent à imaginer et concevoir un nouveau monde numérique plus sûr, plus durable et plus performant.

Un creuset d'interactions entre le monde académique et le monde industriel

Le numérique est essentiel à la transformation de l'industrie et plus largement de notre société. Afin de soutenir et d'accélérer son déploiement, l'institut propose un environnement de recherche unique à ses partenaires. Au sein de ses projets de R&D, ses ingénieurs-chercheurs créent le lien entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée pour répondre à un triple objectif : stimuler la production de connaissances, renforcer les capacités de R&D collaboratives et accélérer l'usage des technologies. Leurs travaux de recherche, consolidés par des actifs numériques de haut niveau, permettent à l'IRT SystemX d'apporter des réponses concrètes aux cas d'usage de ses partenaires industriels (start-up, PME, grands groupes) en tirant partie d'une recherche académique de pointe.

Une proposition de valeur unique

L'offre de de l'IRT SystemX s'articule autour de trois volets :



L'offre BOOST

Objectif

Accompagner un partenaire industriel souhaitant tester des solutions technologiques sur un cas d'usage spécifique et en comprendre l'intérêt pour ses lignes de métier.

Durée

3 à 6 mois.

Résultat

Réalisation d'un Proof of Concept (POC) à partir des briques « sur étagère » ou préexistantes au sein de l'IRT.

L'offre IMPROVE

Objectif

Consolider des écosystèmes d'innovation à travers la conduite de projets R&D collaboratifs ayant pour ambition de lever des verrous scientifiques et technologiques. Ces projets fédèrent des collaborateurs de grands groupes, de PME, des ingénieurs-chercheurs de l'IRT ainsi que des acteurs académiques pour placer l'excellence scientifique au service des défis industriels.

Durée

2 à 5 ans.

Résultat

Avancées technologiques et scientifiques majeurs, production de brevets, logiciels et transferts technologiques.

L'offre ADVANCE

Objectif

Fédérer les compétences et l'excellence des partenaires académiques autour de défis scientifiques majeurs.

Durée

3 ans et plus.

Résultat

Déploiement d'initiatives communes de recherche, de chaires industrielles ou de programmes doctoraux
(ex : le collectif de recherche académique BART dédié à la blockchain lancé en 2018).

Directeur de la publication : Michel Morvan
Directrice de la rédaction : Aurélie Bourrat
Rédactrices : Julie Bernede, Marion Molina
Coordination : Bruno Foyer

Crédits photo :
Gil Lefauconier / IRT SystemX, Sébastien Godefroy (p. 9), Justine Larlet (p. 10), Ryan Wang (p. 14), Inria : Photo Kaksonen (p. 19)

Conception visuelle : www.maiffret.net

Impression : Burlet Graphics

IMPRIM'VERT® FSC

www.irt-systemx.fr

Siège :

IRT SystemX
Centre d'intégration
Nano-INNOV
Plateau de Saclay, Palaiseau

Autres sites :

Digiteo Moulon
Plateau de Saclay, Gif-sur-Yvette

Singapour
(bureau de représentation)

Lyon
(antenne)