

# RAPPORT D'ACTIVITES LINEACT CESI 2021



**LINEACT - Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et  
les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires**

**Mai 2022**



**HESAM**  
UNIVERSITÉ

Table des matières

1	La recherche à CESI .....	5
1.1	Organisation.....	7
1.2	Stratégie .....	8
2	Thèmes de recherche.....	9
2.1	Thème de recherche Apprendre et Innover .....	10
2.1.1	Moyens mis en œuvre et projets en cours .....	11
2.1.2	Tableau des effectifs au 31 mars 2022 .....	15
2.1.3	Produits et activités de recherche du thème Apprendre et Innover .....	15
2.2	Thème de recherche Ingénierie et Outils Numériques.....	18
2.2.1	Moyens mis en œuvre et projets en cours .....	19
2.2.2	Evolutions du thème de recherche .....	28
2.2.3	Tableau des effectifs à avril 2022.....	29
2.2.4	Produits et activités de recherche du thème Ingénierie & Outils Numériques.....	31
3	Les Projets structurants .....	33
3.1	JENII.....	33
3.2	Pédagogie de l’Alternance .....	34
4	Moyens Matériels .....	36
4.1	Plateforme Usine du Futur (site de Rouen) .....	37
4.2	Plateforme Bâtiment du futur (site de Nanterre).....	38
4.3	Plateforme Industrie du futur (site de Nanterre) .....	40
4.4	Micro Learning Factories.....	42
5	Perspectives .....	43
6	ANNEXE 1 : Publications.....	44
7	ANNEXE 2 : PROJETS AU SEIN DE LINEACT.....	48
7.1	Récapitulatif des projets en cours .....	49
7.2	DEFI&Co - Développer l’expertise future pour l’industrie et la construction.....	53
7.3	CoRoT - Improving the design of flexible and responsive manufacturing systems involving autonomous and Collaborative Robots.....	55
7.4	VISTA – AR Innovation concernant l’expérience visiteur au moyen d’une analyse systématique de textes et de la réalité augmentée .....	58
7.5	UV Robot - Innovative UV-robotics to improve existing IPM strategies and to benefit farmers, consumers and the environment .....	60
7.6	FEDER GPS – Grid Power Sustainability .....	62
7.7	ANR CREAM - CREativity in Additive Manufacturing .....	63
7.8	COOP - Culture innOvation et ProTototypage pour l’entrePreneuriat .....	64
7.9	NUMERILAB - Environnements Numériques Instrumentés pour les Apprentissages Humains .....	66
7.10	Rouen Mobilités Intelligentes pour tous .....	68
7.11	PLFADDT « Le Parc Logistique du Futur Acteur d’un Développement Durable des Territoires » .....	70
7.12	Label d’excellence Campus des Métiers et des Qualification Aéronautique et Spatial Occitanie.....	72

7.13	EVAL ACP.....	73
7.14	SCOPES.....	74
7.15	JENII.....	75
7.16	Pédagogie de l'Alternance .....	76
7.17	C CARE : Covid Channel Area Response Effort.....	77
7.18	AntiHpert - Opérateur 4.0 et anticipation dynamique de ses perturbations dans les ateliers de production 78	
7.19	COLIBRY - COLlaborative semantlc roBotics for industRY 5.....	80



## 1 La recherche à CESI

LINEACT CESI est le laboratoire de recherche de CESI, dont les activités sont mises en œuvre sur 21 sites ou campus répartis en France, eux-mêmes regroupés en 6 régions, ainsi que dans un cadre national à la Direction Générale basée à Paris La Défense. En 2021, 4 régions se sont dotées d'un département Recherche et Innovation, 2 l'étaient déjà ; les 6 régions CESI organise donc maintenant leur recherche et innovation autour d'un Responsable de Département Recherche et Innovation (RDRI)

LINEACT CESI rassemble actuellement 64 enseignants-chercheurs dont 13 HDR, 10 ingénieurs de recherche, 1 technicien de recherche et 36 doctorants (dont 2 doctorants internationaux co-encadrés par des EC CESI), ainsi que 6 Responsables de Département Recherche et Innovation (EC également), 2 cadres administratif et financier, 1 cadre commercial et 1 assistante.

La spécificité de LINEACT repose sur l'organisation de sa recherche selon deux thèmes scientifiques interdisciplinaires et deux domaines applicatifs, ces derniers se concentrent sur les mutations profondes, et de plus en plus rapides, de l'industrie et de la ville. Le thème "Apprendre et Innover" relève des Sciences humaines et sociales, et des Sciences économiques et de gestion; Le thème "Ingénierie et Outils Numériques" relève des Sciences du Numérique et de l'Ingénierie. Ces deux thèmes développent et croisent leurs recherches notamment dans les deux domaines applicatifs de l'Industrie du Futur et de la Ville du Futur.

Plus largement, ils accompagnent entreprises et apprenants dans les révolutions que vivent actuellement nos sociétés, qu'elles soient industrielle, numérique, énergétique/climatique ou plus largement sociétale. Il s'agit également de déployer une recherche au service des scolarités et formations de CESI que cela soit au niveau pédagogique ou didactique.

CESI a concrétisé en 2021 son engagement en matière de recherche et innovation responsables par son intégration à la démarche d'intégrité scientifique proposée par l'HCERES et son adhésion officielle à la « charte française de déontologie des métiers de la recherche » de l'HCERES toujours, tout en enrichissant cette charte d'intégrité scientifique d'un texte introductif et de repères sur les questions majeures pour CESI ; un référent intégrité scientifique a été désigné. CESI s'associe donc à ses partenaires académiques et industriels dans cette démarche.



La recherche à CESI se répartit comme suit dans les différents campus :

8 : Nombre d'EC sur le site

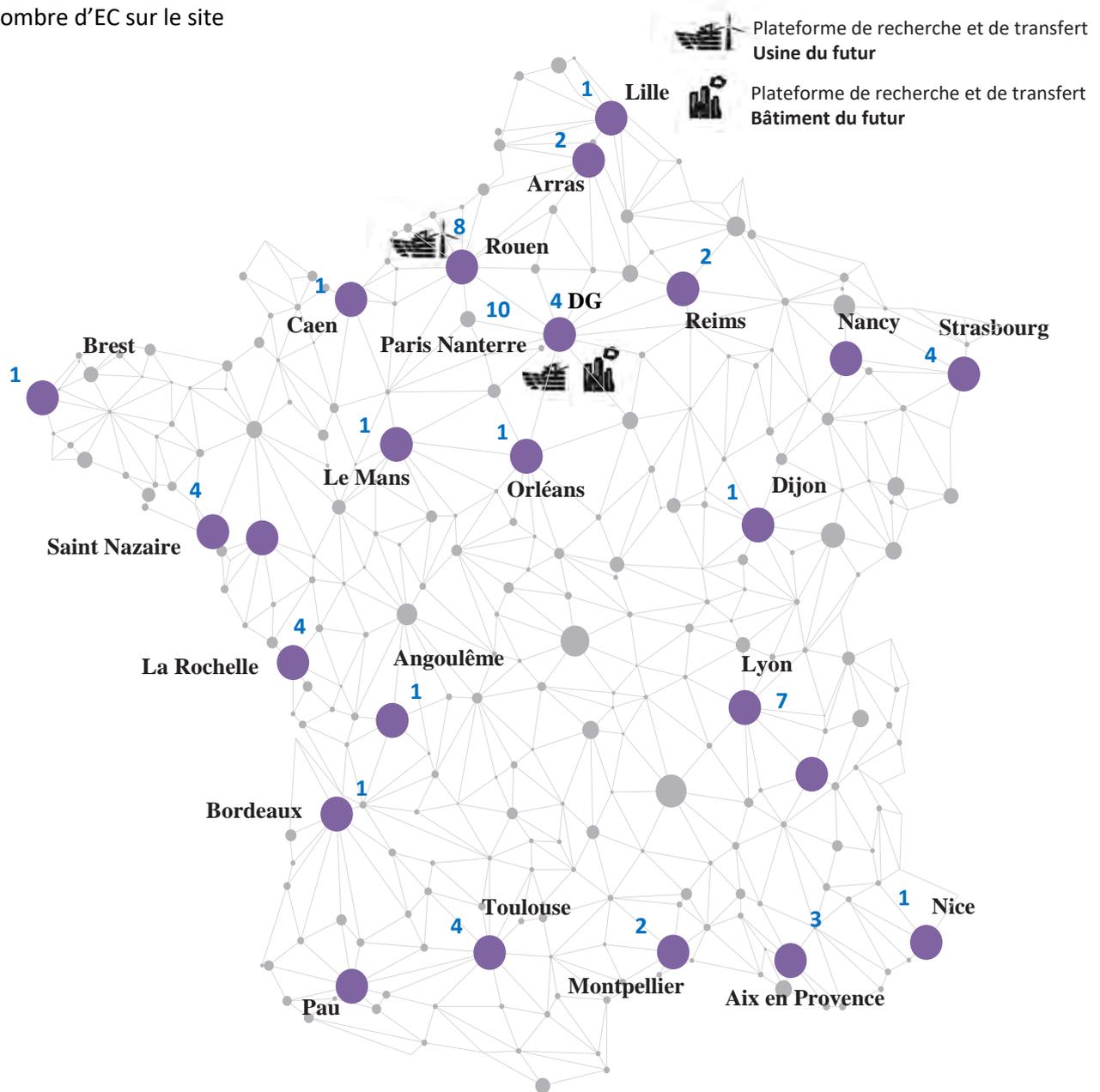
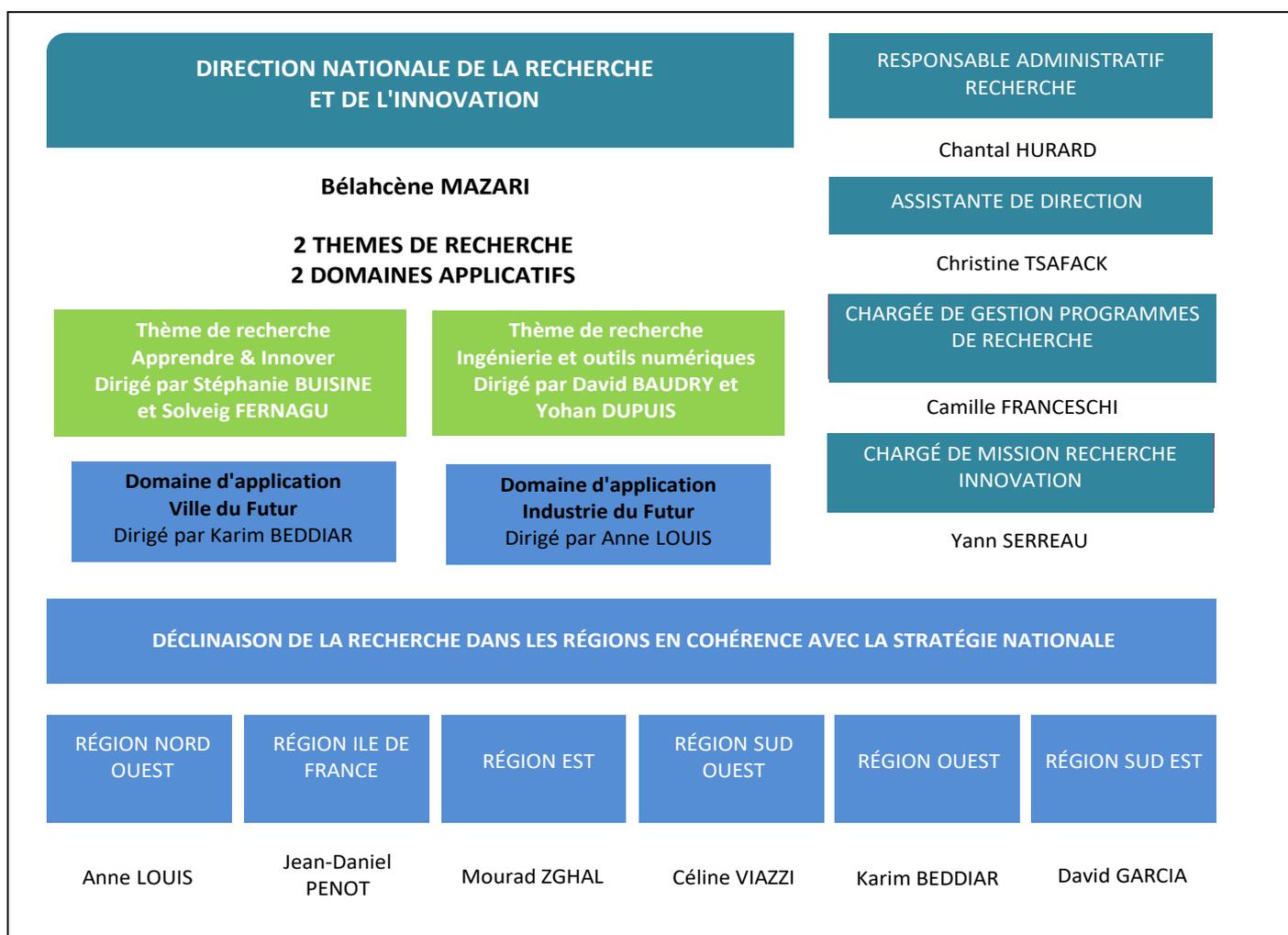


Figure 1 : Organisation territoriale de la recherche

## 1.1 Organisation

Une direction nationale de la recherche et de l'innovation, basée à Paris et dirigée par Bélahcène MAZARI décline la recherche dans les régions en cohérence avec la stratégie nationale. Les Responsables de Département Recherche et Innovation (RDRI) dans chacune des 6 régions CESI participent à la coordination au niveau national et assurent la diffusion des différentes actions vers les équipes régionales ; ces RDRI ont tous une expérience de la recherche et des partenariats en entreprises qui leur permettent de maîtriser les deux environnements. Une cellule administrative regroupant le développement et aspects financier et gestion de la recherche complète le dispositif en lien avec la direction financière de CESI.

LINEACT CESI se présente donc comme un seul laboratoire, dont les projets et les partenariats sont adaptés aux 6 régions de CESI et aux campus rattachés à ces régions. 10 ingénieurs de recherche travaillent transversalement sur les thèmes de recherche et les domaines applicatifs.



## 1.2 Stratégie

Après plusieurs années de développement intense, la transformation de la Gouvernance recentrée sur les entreprises et les branches en complémentarité avec leurs besoins et leurs appareils de formation, la recherche d'un modèle économique viable et une stratégie de montée en gamme, CESI fait plus que jamais du développement de la recherche un de ses principaux axes de progression. Les réponses aux besoins nouveaux, les solutions hybrides en fort développement (BIM, data, fabrication additive, réalité virtuelle et augmentée, ...), ainsi que les outils de déploiement appropriés (jumeaux numériques) sont autant de pistes privilégiées.

Majoritairement reconnu comme un expert en innovation en matière pédagogique et pionnier de l'apprentissage dans le Supérieur, CESI va affirmer et valoriser ses acquis pour être reconnu comme un des acteurs de premier plan de l'enseignement supérieur et de la recherche, afin notamment de répondre aux dernières exigences de la Loi de Programmation de la Recherche. Pour ce faire et rentrer de plain-pied dans le monde de la recherche, LINEACT CESI va jouer son rôle dans l'intensification du recrutement des enseignants chercheurs et accompagner le mouvement en cours de l'enseignement supérieur en ce qui concerne le repyramidage des enseignants-chercheurs, pour passer à un ratio plus important entre MCF (Maitre de Conférence) et PR (Professeur des Universités).

L'objectif affiché est de constituer un corps de professeurs de universités représentant 40 % des enseignants-chercheurs (\*).

Cet objectif sera atteint par paliers successifs, par les voies externes (recrutements d'enseignants-chercheurs déjà titulaires d'une HDR) et internes (appui aux EC CESI pour le passage de leur HDR ou à un poste de Directeur de recherche CESI, ouverture des thèmes de recherche à de nouveaux domaines applicatifs pour optimiser les compétences de chacun et accompagner au mieux les formations de CESI dans toutes les régions).

En parallèle, le recrutement de doctorants et de stagiaires sera un point à développer de manière encore plus active.

Enfin, l'intégration du système qualité impose un suivi strict des indicateurs de publications à déployer dans toutes les régions et une démarche d'amélioration permanente.



(\*) Le taux de PR s'élève à ce jour à 31 % dans le monde de l'Enseignement Supérieur et la Recherche.

## 2 Thèmes de recherche

La recherche est scindée en deux thèmes scientifiques complémentaires et fédérateurs, et deux grands domaines d'applications :

- Le thème 1 « Apprendre et Innover » s'appuie sur les paradigmes des sciences humaines et sociales, ainsi que ceux des sciences économiques et de gestion, afin de contribuer aux sciences et techniques de la formation et de l'innovation. La finalité du thème 1 est de produire des connaissances sur les écosystèmes d'apprentissage et d'innovation pour une expérience et un développement responsable des individus, des organisations et des territoires. Cela passe par l'analyse des effets des contextes (environnement, situation, culture, secteur, technologie...) sur les processus d'apprentissage et d'innovation, la mise en place d'expérimentations et d'interventions, et l'analyse des retombées sur le développement humain, social et économique ; mais aussi par l'analyse des effets de rétroaction des comportements sur les contextes dans lesquels ils se produisent. C'est donc le développement dans ses dimensions micro, méso et macro qui est appréhendé. En ce sens, ce thème peut s'adresser à des domaines d'application plus larges que ceux de la Ville ou de l'Industrie du Futur.

- Le thème 2 « Ingénierie et outils numériques » rassemble des compétences dans les domaines des sciences du numérique et de l'ingénieur. Ses travaux portent sur la modélisation et l'optimisation de systèmes, ainsi que sur le traitement et l'analyse de données et les processus de décision appliqués à ses deux domaines d'application : ville et industrie du futur.

Ces deux domaines applicatifs permettent de croiser et d'articuler les compétences métiers indispensables à la mise en œuvre de nos projets, en lien avec nos thèmes scientifiques. Ils répondent prioritairement aux deux grands défis que sont les transitions énergétique et numérique de nos sociétés.

Les interactions entre les thèmes scientifiques et les domaines applicatifs sont décrits dans le schéma présenté sur la figure suivante.

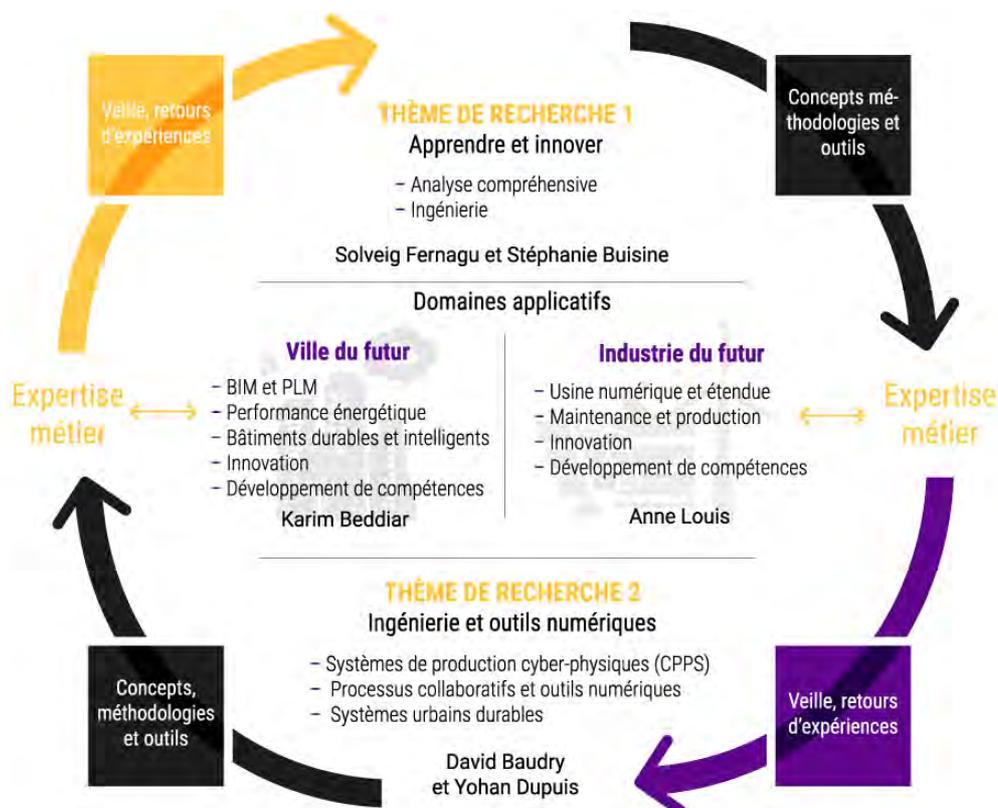


Figure 2 : Structuration de l'activité de recherche

## 2.1 Thème de recherche Apprendre et Innover

La finalité des recherches du Thème 1 est de Produire des connaissances sur les écosystèmes d'apprentissage et d'innovation pour une expérience et un développement responsable des individus, des organisations et des territoires.

Cette formulation a été travaillée collégalement par les membres de l'équipe du Thème 1 lors du séminaire recherche national LINEACT CESI de mars 2022, conjointement à la construction de la Figure 3 qui structure notre approche scientifique. Cette figure met en valeur le paradigme interactionniste dans lequel s'inscrivent l'ensemble de nos travaux : la performance en termes de Développement humain, social et économique est vue comme la résultante de l'interaction entre des facteurs situationnels (Contexte d'apprentissage et d'innovation, constitué d'éléments de l'environnement social, technologique, industriel, économique, culturel...) et des facteurs dispositionnels déterminant les Activités et Processus d'apprentissage et d'innovation. Une des spécificités de notre équipe est la richesse et la diversité des niveaux d'analyse des facteurs dispositionnels. En effet, ceux-ci peuvent être considérés au niveau "Micro" de l'individu (ex : lorsque l'on s'intéresse à l'apprenant, au professionnel, ou au end-user), au niveau "MésO" de l'équipe, du système ou de l'organisation (ex : lorsque l'on étudie un dispositif de formation, une équipe-projet ou une entreprise) et enfin au niveau "Macro" de la société (ex : lorsque l'on analyse les politiques institutionnelles, les mesures régionales, nationales ou internationales). Ce dernier niveau d'analyse "Macro" a été renforcé fin 2021 à l'arrivée de nouveaux Enseignants-Chercheurs en Sciences économiques, recrutés afin de répondre aux besoins de formation de CESI.



Figure 3 : Structuration du Thème Apprendre et Innover.

En raison de la diversité des niveaux d'analyse des activités et des processus d'apprentissage et d'innovation, nos recherches, selon les cas, peuvent viser le développement personnel, professionnel, expérientiel pour l'individu (apprenant, innovateur, end-user...) ; le développement social au sein d'un collectif d'apprentissage, d'une organisation ou d'une communauté ; le développement économique au niveau industriel ou territorial, etc. En revanche nous adoptons pour l'ensemble de nos recherches un cadre éthique commun de développement responsable et/ou durable.

### 2.1.1 Moyens mis en œuvre et projets en cours

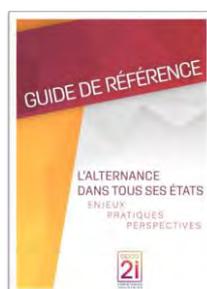
**Processus "Apprendre"** : Plusieurs actions ont été initiées ou se sont poursuivies en 2022.

Concernant les projets et collaborations initiés avant 2022 et en voie de terminaison :

- **EVAL ACP**  se terminera en mai 2022. Ce projet financé par la région Occitanie avait pour finalité la production d'une échelle de mesure des aptitudes et comportements professionnels. Elle a été testée auprès de plus de 900 apprenants issus de 4 écoles d'Ingénieurs (CESI, ICAM, 3IL, CNAM). L'échelle produite a permis l'auto-évaluation par les apprenants d'un ensemble d'aptitudes réparties selon trois catégories : personnelles, relationnelles et actionnelles. Il reste à concevoir un guide d'utilisation de l'échelle produite de manière à en diffuser l'usage. Cette recherche va être approfondie en interne, à CESI, de manière à repérer les situations pédagogiques qui pourraient être susceptibles de renforcer ou contribuer au développement de ces aptitudes, afin de les renforcer si nécessaire.
- **DEFI&Co**  s'achèvera en septembre 2022. Il s'agissait de faire évoluer 39 formations CESI en lien avec nos domaines applicatifs de recherche, la ville et l'industrie du futur, et de s'intéresser à la question de la protection et du traitement des données qui les sous-tendent (data sciences, cybersécurité). Ce projet, en lien avec les Directions des études des Ecoles, a permis de proposer des énoncés de problèmes et de travaux pratiques en lien avec les ressources offertes par les plateformes pédagogiques de CESI, et d'investir dans des technologies pédagogiques adéquates pour déployer de nouvelles mises en situation. Une contribution méthodologique à l'ingénierie des situations d'apprentissage utilisant la réalité virtuelle a notamment été apportée dans le cadre du développement de l'application Lean 4.0.
- Ce projet a également permis de déployer et développer de Nouveaux Espaces d'apprentissages (NEA) des lab'CESI et des Créativ Lab. Ces tiers lieux sont dédiés à l'apprentissage actif. Plusieurs séries d'observations menées dans les Lab'CESI de Saint-Nazaire, Le Mans, et de Nanterre ont permis d'orienter les travaux de recherche sur deux axes : Analyser des activités en situations de prototypage pour comprendre les effets de l'environnement sur l'Apprendre, Comprendre la transmission et le partage de schèmes pour construire un environnement capacitant. Ces observations ont été complétées par une étude sur le fonctionnement du réseau Lab'CESI qui permet aux 27 Référents des espaces de prototypage des campus d'échanger et de coconstruire des ressources.
- La collaboration avec le CIRNEF de Rouen a permis de comparer différents environnements d'apprentissage, d'apprécier et de comparer leurs effets sur les apprentissages. Le module de performance industrielle a été analysé dans trois types d'environnements : physique, virtuel et hybride. Le travail de formalisation des résultats est en cours.

Concernant les projets initiés :

- **OPCO2i / Pédagogie de l'alternance**  : cette recherche financée et commanditée par l'Observatoire des Compétences de la métallurgie vise à définir les contours de ce que pourrait être une pédagogie de l'alternance et élaborer un guide de référence de la pédagogie de l'alternance. Deux enquêtes ont été engagées : l'une qualitative auprès de 103 acteurs de la formation (CFA métallurgie et hors métallurgie, centres de formation partenaires ou non de la métallurgie, organisations professionnelles, formateurs, chercheurs) et 46 alternants de 5 CFAI ; l'autre quantitative auprès de près de 1800 alternants (CAP à Ecoles d'Ingénieurs) via un questionnaire en ligne (50 questions). Ces enquêtes ont permis de récolter un matériel de recherche conséquent en cours d'analyse.

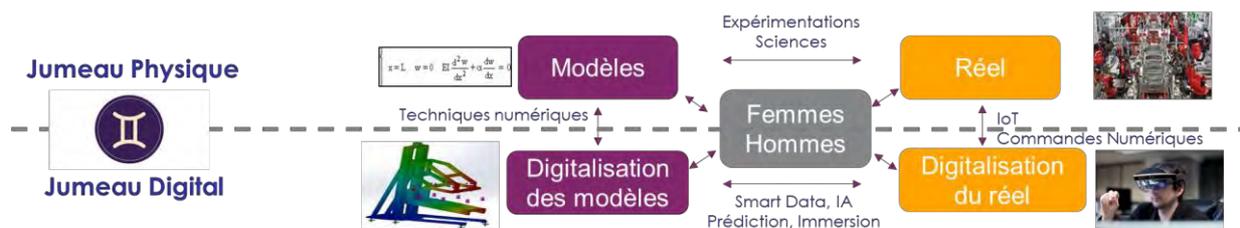


- JENII (Jumeaux Numériques Immersifs et Interactifs)** : ce projet ANR d'une durée de trois ans réunit un consortium de trois partenaires académiques membres de HESAM Université (ENSAM, CNAM, CESI) et d'un centre de recherche technologique de référence (CEA). Il porte sur 15 démonstrateurs de l'enseignement supérieur et la création d'un métavers hébergeant ces derniers. Le développement technologique et techno-pédagogique est présenté par le thème 2. L'équipe Apprendre, en collaboration avec des représentants de chacun des membres du consortium, travaille à l'élaboration d'un livre blanc en cherchant à répondre à deux questions : qu'est-ce qu'apprendre avec les jumeaux numériques ? Qu'est-ce qu'enseigner avec les jumeaux numériques ? Pour répondre à ces deux questions, les porteurs de projets seront questionnés sur la mise en capacité à apprendre et à enseigner avec ce type de technologie : quels leviers ? quels freins ? quelles opportunités ? Quels usages ? Seront également intégrées dans cette enquête des users-stories pour appréhender leurs expériences et leur usages pédagogiques.

S'il existe une production académique importante sur le e-learning, l'apprendre avec les technologies dans des environnements instrumentés n'est encore que très peu documenté et plutôt balbutiant. L'ambition de ce projet est de contribuer à étayer cette documentation et de réfléchir à la formation des futurs acteurs à l'usage pédagogique des jumeaux numériques.

La finalité de ce livre blanc pourrait ainsi se résumer sous la formule « Apprendre et enseigner avec les jumeaux numériques ».

Un doctorant de l'équipe participe activement à ce projet, sa thèse étant co-financée par CESI et le projet JENII.



- Une convention de partenariat avec l'**Institut Français d'Éducation (IFÉ)** de Lyon vient d'être entérinée. Il s'agit d'accompagner l'équipe de formation sur la mise en œuvre du cadre des capacités comme outil d'analyse des pratiques professionnelles enseignantes. Une première expérimentation va être conduite sur les Nouveaux Environnements d'Apprentissage afin d'apprécier la manière dont ceux-ci impactent la mise en capacité à apprendre et à enseigner.

Concernant les projets à venir :

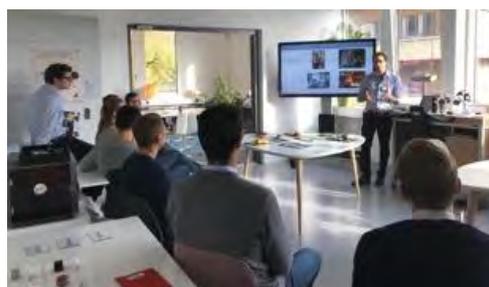
- Une convention de partenariat avec l'Université de Bretagne occidentale est en cours d'élaboration. Elle concerne la co-direction d'une thèse CIFRE à la RATP portant sur l'autorégulation collective des apprentissages et la mise en capacité à s'autoréguler.

**Processus "Innovater"** : l'année 2021 a été marquée par les avancées suivantes :

- Poursuite du projet **ANR CREAM** (CREativity in Additive Manufacturing). Dans le cadre de l'Industrie du Futur, ce projet vise à favoriser la transition d'un raisonnement de conception adapté aux procédés de fabrication conventionnels vers un raisonnement adapté à la fabrication additive. Pour cela, nous avons conçu une série d'objets inspirationnels illustrant à la fois des opportunités de la fabrication additive (ex : complexité géométrique, hiérarchique, fonctionnelle) et des principes inventifs issus de TRIZ (théorie de résolution des problèmes inventifs). La conception et validation de ces supports de créativité a suivi une démarche itérative avec des expérimentations successives en laboratoire et sur le terrain. En 2021, ces travaux ont abouti au dépôt d'un brevet et à plusieurs publications dans des revues ACL (1 acceptée, 3 soumises). En raison de la crise sanitaire, certaines expérimentations ont été repoussées à 2022. Cela a cependant été l'occasion de travailler à la déclinaison de nos solutions de créativité en Réalité Virtuelle et Augmentée, ainsi qu'à la scénarisation de l'usage des objets inspirationnels (conception d'un jeu de plateau, gamification, serious gaming). Nous avons également poursuivi les actions de transfert vers la pédagogie (déploiement pour la 3ème année consécutive au sein de l'Option Fabrication Additive Métallique du cycle ingénieur généraliste) et avons réalisé une prestation de transfert auprès d'un acteur majeur de l'industrie aéronautique.
- Dans le cadre de la première campagne de **contrats doctoraux CESI**, et à l'occasion du recrutement de nouveaux collaborateurs (un Doctorant et une Enseignante Chercheure), nous avons relancé nos recherches sur les technologies support à la créativité : plateformes numériques collaboratives synchrones, asynchrones, présentes, distantes, immersives... Ces travaux ont débuté en fin d'année 2021.
- Lancement du projet **C-CARE** (Covid Channel Area Response Exchange). Dans le cadre de nos recherches sur le management stratégique de l'innovation, l'objectif de ce projet est d'analyser les politiques publiques mises en œuvre dans la zone transfrontalière France Manche Angleterre afin de faire face aux conséquences économiques et sociales de la pandémie COVID-19. En particulier, nos travaux visent à soutenir des PME dans l'identification d'un Business Model favorable à la résilience et à une reprise durable et à comprendre le rôle de l'innovation ouverte dans l'évolution du Business Model.
- Lancement du **PIA TIGA "Rouen mobilité pour tous"**. Les LivingLabs recouvrent des réalités très diversifiées qui peuvent être associées à des notions opérationnelles ou méthodologiques telles que l'innovation ouverte, le leadership, la co-création, le co-design, la gouvernance partenariale et l'innovation sociale. Les LivingLabs peuvent être considérés, comme une approche, une méthodologie, un concept permettant notamment de faire émerger des solutions au plus proche des citoyens et répondant à des problématiques de plus en plus complexes. Si les recherches autour de l'usage des LivingLabs se développent, la question de leur viabilité économique et financière à travers l'étude critique de leur Business Model reste relativement mise de côté. Cette problématique fera l'objet de notre contribution dans ce projet, et sera complétée par l'analyse de l'impact d'un LivingLab sur le développement territorial, la dynamisation et l'attractivité d'un écosystème - ce qui impliquera d'identifier et de définir de nouveaux indicateurs de développement dépassant le traditionnel PIB, et restant cohérents avec le plan territorial de transition juste et du plan Energie-Climat. Ces sujets seront traités dans le cadre de deux thèses de doctorat.
- Poursuite des travaux sur les **Stratégies d'innovation Need-seeker**. Dans la lignée de nos recherches théoriques et méthodologiques sur l'anticipation des besoins futurs, nous avons finalisé un projet interne visant à caractériser les dispositions personnelles des Lead Users, dans l'objectif de promouvoir des stratégies d'innovation radicale centrées sur les usages. En 2022, ces travaux seront poursuivis et appliqués au domaine du Smart Building. Cette approche sera aussi déclinée au sein du **PIA4 JENII** (Jumeaux d'Enseignement Numériques Immersifs Interactifs) en analysant l'impact des technologies d'apprentissage sur la satisfaction des besoins fondamentaux des apprenants (au sens de la théorie de l'auto-détermination), leurs motivations, leur engagement, leur développement personnel et professionnel.
- Poursuite du projet **Robotics-by-Design avec SNCF et Strate Ecole de Design**. Ce projet porte sur l'intégration de la robotique dans la maintenance ferroviaire. Dans le contexte de l'Industrie du futur, les travaux centrés sur l'humain se limitent jusqu'à présent à la prise en compte de critères de productivité, d'ergonomie et de sécurité au travail. Or, les premiers retours d'expérience suivant l'introduction de la robotique suggèrent que des effets non anticipés apparaissent : éloignement des opérateurs de la production et du produit, et perte de sens du travail, notamment. A contre-courant de la pensée dominante, nous souhaitons dans ce projet utiliser la robotique comme levier de motivation individuelle et collective, pour renforcer le sens du travail et l'engagement des agents de maintenance ferroviaire. Nous avons intitulé cet objectif la "Robotique Ikigai" en

référence au concept japonais d'ikigai évoquant l'accomplissement de soi, l'épanouissement au travail. En 2021, nos avancées ont été formalisées au sein d'un article théorique (proposition d'un modèle cognitif de l'ikigai) et de deux articles de conférences (portant sur la mesure de l'ikigai et sur les relations entre robotique et bien-être au travail). Nous avons mené une première étude de terrain auprès d'opérateurs de maintenance ferroviaire et entamons à présent la phase de conception d'un nouvel outil robotisé.

- Poursuite des travaux sur **l'Innovation organisationnelle** et clôture du projet **Laser Fusion**. Nos travaux sur l'innovation organisationnelle visent à identifier les mécanismes de l'engagement au travail et à en activer les leviers afin d'augmenter la performance sociale des entreprises. Dans la lignée de travaux initiés en 2020, nous avons déployé en 2021 une enquête cross-sectionnelle et cross-industrielle d'envergure (767 entreprises répondantes) dans l'objectif de vérifier l'impact sur l'engagement, d'une part, de certaines configurations organisationnelles d'apparence souple (ex : structure en réseau, pratiques relevant du stade Opale) et, d'autre part, de styles de management favorisant l'autonomie du salarié et/ou reposant sur des motivateurs intrinsèques (ex : sens du travail). De façon cohérente avec nos précédents travaux, il apparaît que le déterminant le plus puissant à l'engagement au travail est le style de leadership transformationnel (qui conjugue autonomie et sens). Nous nous sommes appuyés sur ce résultat pour mener une étude de cas dans une PME industrielle, Laser Fusion - étude de cas qui s'est achevée en 2021 après une collaboration de 4 ans. Nos deux principales interventions ont pris la forme d'un coaching managérial (développement du leadership transformationnel auprès du dirigeant) et de la refonte des fiches de poste afin de formaliser le sens du travail (motivateurs intrinsèques et valeurs organisationnelles) dans la définition des missions individuelles. A l'issue de cette étude de cas, nos analyses ont mis en évidence que certains freins à l'engagement avaient disparu au sein de l'entreprise, de nouveaux leviers étaient apparus, et de nombreux facteurs constitutifs d'un climat social positif (dont l'engagement) avaient augmenté significativement.
- Lancement d'un projet avec la **Division Production Nucléaire d'EDF** sur une approche transformationnelle du management des compétences. L'innovation organisationnelle est également au cœur de ce projet débuté en 2021. Ici, le développement d'un style de leadership transformationnel ne vise pas seulement les dirigeants ou managers, mais l'ensemble des acteurs de l'entreprise. L'un des objectifs est de développer chez chaque collaborateur une approche d'auto-management de ses propres compétences. Nous sommes amenés pour cela à étudier leur autodétermination au travail, la perception qu'ils ont du sens de leur travail, et leur niveau de satisfaction des besoins fondamentaux (besoin d'autonomie, de compétence et d'affiliation). En 2021, nous avons réalisé une première étude à grande échelle (analyse d'un corpus représentant les réponses de plus de 10 000 salariés) et entamé une démarche de diagnostic approfondi auprès de quelques équipes de terrain.
- Poursuite du projet **Eval-ACP** (Evaluation des Aptitudes et Comportements Professionnels). L'analyse des "soft skills" d'un échantillon de plus de 900 apprenants issus de 4 écoles d'ingénieurs (CESI, ICAM, 3IL et CNAM) a produit des résultats intéressants en termes de structuration des aptitudes en 3 dimensions orthogonales (aptitudes personnelles, relationnelles et actionnelles). De surcroît, deux résultats nous semblent porteurs pour la compréhension des dispositions à innover et sont en lien direct avec nos travaux sur l'innovation organisationnelle : le Leadership transformationnel apparaît comme transversal et fait le lien entre aptitudes personnelles et relationnelles. Cela renforce notre conviction qu'il s'agit d'un facteur clé à développer à la fois dans des situations managériales et d'auto-management. Le second résultat concerne la dimension Esprit d'entreprendre, qui fait le lien entre aptitudes personnelles et actionnelles. En outre, cette aptitude apparaît comme la moins développée chez nos apprenants, ce qui appellera sans doute la mise en place de solutions pour la renforcer.



## 2.1.2 Tableau des effectifs au 31 mars 2022

Responsables du thème	Stéphanie BUISINE, HDR Solveig FERNAGU, HDR
Enseignants-chercheurs	Benoît BERQUIER Andréa BOISADAN Beatrice BIANCARDI Muriel DAVIES Imène GUETAT, HDR Elodie PILLON Yann SERREAU Céline VIAZZI

Doctorants		Direction de thèse		Année début de thèse	Titre de la thèse	ED de rattachement
BATAL	Thibaut	S. BUISINE, CESI	A. BOISADAN, B. BIANCARDI, CESI	2021	Support technologique et méthodologique pour la créativité en groupe.	ED 432 SMI
DROUET	Vincent	B. MAZARI, CESI	E. PILLON, CESI	2022	Impact d'une approche living lab sur le développement d'un territoire	ED 432 SMI
GAUDENS	Lisa	S. BUISINE, CESI	M. DAVIES, CESI	2021	Approche transformationnelle du management des compétences	ED 432 SMI
SARTORE	Mégane	S. BUISINE, CESI	I. OCNARESCU, Strate	2020	Robotique Ikigai	ED 432 SMI
SAVARIT	Gaëtan	A. LOUIS, CESI	E. PILLON, CESI	2021	Impact d'une approche Living Lab sur le développement d'un territoire	ED 432 SMI
BLUTEAU	Marie	S. FERNAGU, CESI		2020	Les reliances de l'alternance dans des dispositifs de formation hybrides	ED 432 SMI
FACON	Cédric	S. FERNAGU, CESI		2021	Environnement d'apprentissage instrumenté et mise en capacité à apprendre et à enseigner	ED 432 SMI
GUEZ	Sarah	S. FERNAGU, CESI		2021	Environnement d'apprentissage instrumenté capacitant	ED 432 SMI

## 2.1.3 Produits et activités de recherche du thème Apprendre et Innover

### Thèse soutenue en 2021

La thèse d'Erica Rottemberg a été soutenue en 2021, sous la direction de Stéphanie Buisine, dans le cadre de l'Ecole Doctorale 261 3CH (Cognition, Comportements, Conduites Humaines) de l'Université de Paris. Le titre de la thèse est **“Pratiques managériales et engagement des salariés : Une évolution qui passe par le sens”**.

Résumé : *“La performance sociale représente une dimension stratégique de l'entreprise, elle est indispensable à l'atteinte des objectifs et apporte un cadre d'épanouissement pour les salariés. Pour mesurer cette performance sociale, nous nous sommes particulièrement intéressés à la notion d'engagement des collaborateurs. Dans un contexte où nous observons de multiples mutations au sein des entreprises (ex : transformation digitale, renouvellement*

générationnel), notre travail de recherche s'est tourné vers les facteurs déterminant l'engagement au travail et la manière d'augmenter celui-ci. Nous nous appuyons pour cela sur un cadre théorique croisant les théories de la motivation, la notion de sens du travail et le concept de leadership transformationnel, en les intégrant dans une vision évolutionniste des organisations. Pour répondre à la problématique de l'identification des déterminants de l'engagement au travail, nous avons élaboré deux questionnaires sur la base d'échelles standardisées et d'items de notre conception et les avons diffusés sous forme d'enquêtes cross-sectionnelles et cross-industrielles (N = 107 et N = 767 entreprises répondantes) afin de tester l'impact des facteurs technologiques, organisationnels et managériaux sur l'engagement. Le principal résultat met en évidence de manière forte que le style de leadership transformationnel est un prédicteur positif de l'engagement au travail. De façon secondaire, la clarté de la tâche et l'ouverture sociale semblent également jouer un rôle important. En revanche, le facteur technologique et la structure organisationnelle ne semblent pas impacter l'engagement. Pour tester la mise en œuvre de mesures concrètes d'augmentation de l'engagement au travail, nous avons conduit une étude de cas longitudinale de 3 ans au sein d'une PME industrielle : cette étude a été structurée selon diagnostic initial, des interventions ciblées dans le champ des Ressources Humaines, et une mesure des retombées sur l'engagement. De façon cohérente avec les résultats de nos enquêtes et avec le diagnostic de l'entreprise, nous avons formulé deux hypothèses d'interventions : la première propose de développer le leadership transformationnel du dirigeant (sous forme de coaching managérial) et la seconde vise à apporter du sens au travail en intégrant à la fois des objectifs individuels liés au métier de chacun et des objectifs communs liés aux valeurs de l'organisation (refonte des fiches de postes). Nos résultats montrent qu'à l'issue de cette étude de cas, tous les freins à l'engagement identifiés lors du diagnostic ont disparu, et de nouveaux leviers d'engagement sont apparus. A la lumière de ces résultats, le leadership transformationnel apparaît comme un facteur fiable et constant pour déclencher, consolider ou augmenter l'engagement des salariés au travail. Il permet en effet d'activer des motivateurs intrinsèques (sens du travail) et de répondre aux besoins psychologiques fondamentaux (notamment d'autonomie et d'affiliation). Notre contribution à cet égard repose sur l'intervention d'accompagnement managérial que nous avons menée, fondée sur la recherche du Pourquoi de l'entreprise. Nos réflexions et interventions sur la clarté de la tâche présentent aussi des résultats originaux qui viennent compléter les données de la littérature et constituent une contribution à la fois théorique et applicative. Le travail réalisé sur les fiches de postes implique la fonction Ressources Humaines et la rend actrice de la promotion du sens du travail et de l'engagement des collaborateurs. Ce travail représente les premiers jalons dans le processus d'activation des déterminants à l'engagement au travail et nécessite d'être poursuivi, notamment pour une diffusion plus large du leadership transformationnel."

## Publications 2017-2022

Catégorie	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
ACL	8	4	3	5	6	1	27
ASCL					1		1
C-ACTI	8		9	2	6		25
C-ACTN	1		4	2			7
C-AFF	2						2
C-COM	1		4				5
CH	2	2		1	4	1	10
C-INV			2				2
OS		2			1		3
Thèse	1	3	1		2		7
BRE		3			1		4
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>14</b>	<b>23</b>	<b>10</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>93</b>

La synthèse de la production scientifique de l'équipe de recherche Apprendre et Innover est présentée sur le graphique suivant.

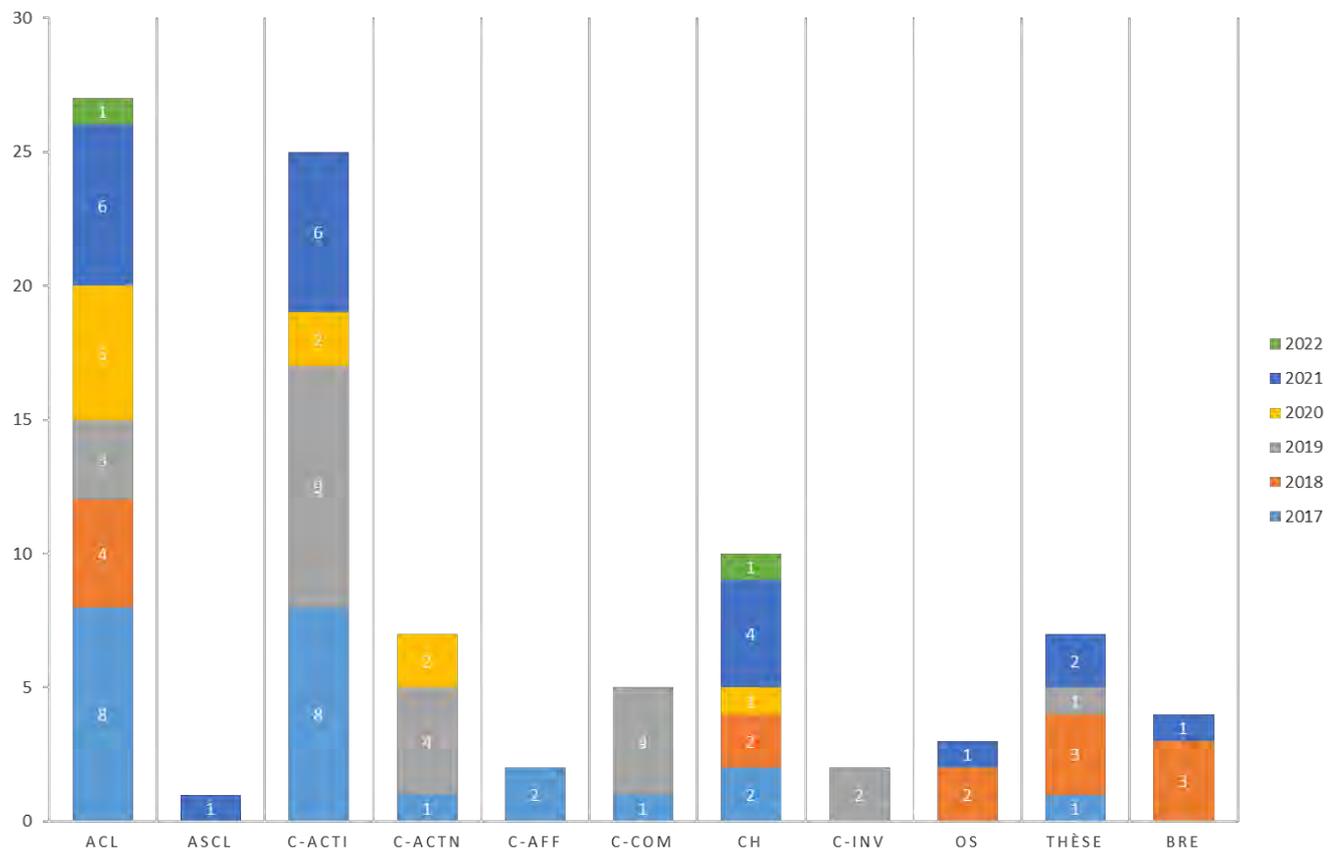


Figure 3 : Publications du thème Apprendre & Innover

### Développements instrumentaux et méthodologiques

Plusieurs développements instrumentaux ont été réalisés pour le processus Apprendre dans le cadre des projets DEFI&Co, qui relèvent du thème Ingénierie et Outils Numériques : il s'agit essentiellement des jumeaux numériques des plateformes de Nanterre et Rouen.

## 2.2 Thème de recherche Ingénierie et Outils Numériques

Le thème de recherche Ingénierie et Outils numériques développe sa recherche dans les champs de la modélisation, la simulation, l'optimisation et le pilotage de systèmes et processus complexes et des interactions Hommes-machines dans ces systèmes cyber-physiques.

Ces axes de recherche, identifiés à partir des besoins industriels, s'inscrivent dans les domaines applicatifs ciblés par LINEACT que sont l'Industrie du futur et la Ville du futur. Ils traitent de problématiques variées, par exemple la modélisation et l'optimisation de la performance de bâtiments, la modélisation, la simulation et l'optimisation de systèmes de production flexibles, le développement d'outils d'aide à la décision pour la maintenance de systèmes industriels, l'étude et l'intégration de l'Intelligence Artificielle (IA) pour la collaboration Homme-robot ou le pilotage de bâtiment intelligent, ou encore la modélisation et l'étude des interactions humain-machine s'appuyant la réalité augmentée, la réalité virtuelle et les jumeaux numériques.

Ce thème de recherche est structuré en trois axes principaux (Figure 4) :

- Axe 1 – Cyber Physical Production System (CPPS)
- Axe 2 – Processus collaboratif et outils numériques
- Axe 3 – Systèmes urbains durables

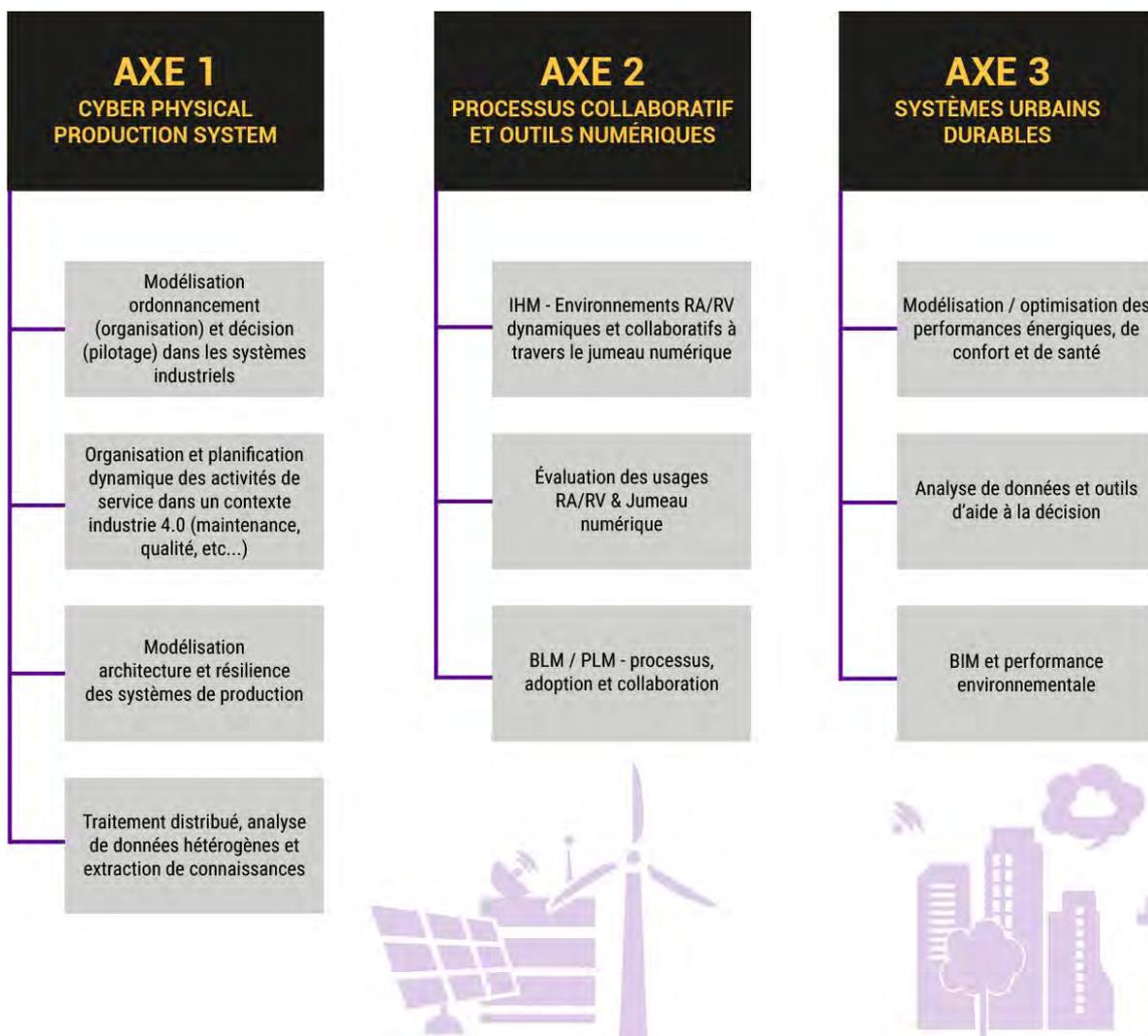


Figure 4 : Thème de recherche Ingénierie & Outils numériques

## 2.2.1 Moyens mis en œuvre et projets en cours

L'objectif de l'équipe Ingénierie et Outils numériques est de construire ses travaux de recherche sur des approches pluridisciplinaire et intégrées, notamment en Sciences du Numérique et Sciences de l'Ingénieur, en combinant modélisation, optimisation, analyse de données et des usages afin de répondre aux enjeux de la Ville et de l'Industrie du futur avec une ouverture sur les Services numériques. Ses travaux se positionnent sur des recherches appliquées aux systèmes et processus constituant la Ville ou l'Industrie avec un effort important d'expérimentation, d'évaluation et de valorisation de la recherche en s'appuyant sur des démonstrateurs et partenariats industriels. Les défis technologiques et organisationnels induits par ces transformations numériques mènent à leur tour à des verrous et problématiques scientifiques étudiés en complémentarité des acteurs académiques dans les domaines de l'informatique/numérique, du génie industriel ou des sciences de l'ingénieur.

Sur la période 2012-2017, les premiers travaux et projets de recherche ont permis d'initier des collaborations nationales et internationales :

- Collaborations nationales : Université de La Rochelle – LASIE UMR 7356, ESIGELEC – IRSEEM EA 4353, ComUE Normandie Université - LITIS EA 4108 et LOFIMS EA 3828, Université de Lorraine – ERPI EA 3767.
- Collaborations internationales : Universités de Greenwich et d'Exeter (Royaume-Uni), PUCPR (Brésil).

Ces collaborations se poursuivent sur d'autres projets en cours actuellement.

En complément, depuis 2018, au travers des projets de recherche en cours de développement, de nouvelles collaborations ont été établies avec des laboratoires nationaux, notamment dans le cadre de co-encadrement de projets doctoraux : Université de Bretagne Occidentale – IRDL - CNRS FRE 3744, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines – David EA 7431, ENSAM - LISPEN EA 7515, Université d'Angers – LARIS EA 7315, Université de Picardie Jules Verne – MIS UR 4290.

Dans le contexte des verrous technologiques et des transformations liés aux deux défis de la Ville du futur, de l'Industrie du futur et du projet scientifique du thème Ingénierie et Outils Numériques, les travaux menés en 2021 portent sur le développement et le renforcement des axes de recherche initiés. Dans le cadre de l'évaluation de LINEACT CESI début 2018, le projet scientifique a été développé en cohérence avec la stratégie globale du laboratoire et les stratégies régionales, nationales et européennes de recherche et d'innovation afin de contribuer aux enjeux liés à la transformation numérique des entreprises et des processus industriels.

Des actions stratégiques de développement ont été initiées depuis 2018 et vont se poursuivre cette année au travers de :

- L'intégration et l'accompagnement des enseignants-chercheurs démarrant leur activité au sein de l'équipe.
- Le montage de projets de recherche collaboratifs (PIA, ANR, projets européens, ...) et le soutien aux activités de transfert et de rayonnement du laboratoire.
- La valorisation et la dissémination des travaux scientifiques.
- Le renforcement et le développement de collaborations actives avec les acteurs académiques.
- La poursuite et le renforcement des partenariats avec des entreprises des territoires (e.g., Chaire ESSOR-CESI, Chaire AVELIS-CESI, Excent, ENGIE, Vinci Construction France, Pilgrim, Oreka Ingénierie, ...).
- La poursuite de la participation active des enseignants-chercheurs de l'équipe à la mise en œuvre des démonstrateurs Bâtiment du Futur et Industrie du Futur, associés à leurs jumeaux numériques.
- L'accompagnement pour la mise en place de nouvelles formations s'appuyant sur la veille et les travaux de recherche issus de l'équipe tels que ceux sur l'intelligence artificielle, la RA/RV et les jumeaux numériques notamment dans le cadre du projet DEFI&Co, du projet structurant JENII et des programmes de Bachelor.



Plus spécifiquement, nous présentons ci-après les travaux de recherche conduits en 2021 et les perspectives de recherche par axe.

**Axe 1 – Cyber Physical Production System.**

Dans cet axe de recherche, les travaux sont concentrés sur les enjeux de l’industrie du futur. Un premier volet porte sur la modélisation, la simulation et l’optimisation de systèmes industriels allant d’ateliers flexibles de production intégrant de la robotique mobile (projets COROT, UV-ROBOT) à l’étude de filière industrielle (projet PLFADDT). A titre d’exemple, dans le cadre du projet européen CoRoT, porté par CESI et impliquant quatre partenaires académiques et trois PME, nous nous intéressons aux problématiques d’allocation et d’ordonnancement dynamique dans un contexte de collaboration multiple entre opérateurs, robots et machines. Nous poursuivons également deux projets de recherche impliquant de la robotique mobile, le premier dans le cadre d’une thèse CIFRE avec la PME Pilgrim sur des problématiques d’inspection industrielle et le deuxième sur des problèmes d’allocations et d’ordonnancement dans le cadre du projet UV-ROBOT, problématique qui a fait l’objet de la thèse de Mérouane Mazar soutenue en 2021. Ces différents travaux ont ouvert de nouvelles problématiques comme l’étude des perturbations d’un système de production lorsque des ressources mobiles se trouvent à des endroits inattendus. Les travaux ont ainsi porté sur la proposition d’un modèle de prédiction de la localisation des ressources pour détecter les perturbations du système, en temps réel, en comparant la localisation prédite à la localisation réelle qui est collectée par le réseau IoT. A la détection d’une perturbation du système, le module de ré-ordonnancement (ALR) affecte les tâches aux ressources les plus proches tout en améliorant la précision d’exécution en utilisant la méta-heuristique Tabu-search (Figure 5).

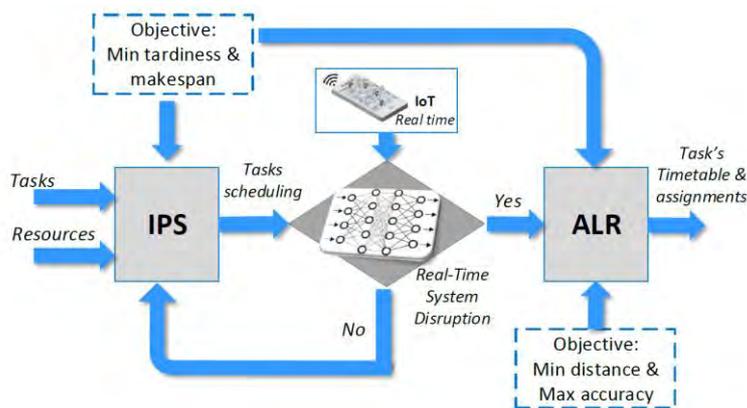


Figure 5 : Synoptique de l'approche proposée .

Dans le domaine de la sim-optimisation de filière industrielle, nous avons poursuivi les travaux de recherche lancés avec NEOMA-BS dans le cadre de la thèse sur la sim-optimisation d’un système de traitement des biodéchets en utilisant des systèmes multi-agents et des méthodes d’optimisation multi-objectifs. Cette thèse, présentée par Yiyi XU, a été soutenue en 2021. Dans le cadre du projet PLFADDT sur les parcs logistiques du futur, nous nous intéressons aux composantes technologiques (logistique 4.0, entrepôt 4.0 et indicateurs de performances) et à la modélisation de ce parc logistique du futur basé sur la multi-modalité et l’intégration dans le tissu économique local à travers les activités de production et de service associées. Des travaux ont également porté sur l’optimisation de la planification des approvisionnements multi-périodes et multi-sourcing avec des délais stochastiques, des prix dépendant de la quantité et des coûts de flexibilité de livraison.

Les travaux de recherche sur les systèmes cyber-physiques industriels, initiés au travers de la Chaire CESI - Cisco – VINCI Energies, se sont poursuivis et ont conduit à la soutenance de thèse d’Imen Bouzarkouna en 2021. Ils portent sur la classification des données échangées et le traitement distribué des données (fog computing) au niveau du système de production (Figure 6). Les travaux portent notamment sur l’étude et la modélisation d’architectures basées sur le fog computing et leurs applications sur des systèmes industriels à travers le concept de fog manufacturing. Nous les complétons par des travaux, dans le cadre du projet DEFI&Co, sur la classification de données et l’utilisation de méthodes d’analyses prédictives sur des systèmes industriels pour obtenir des outils d’aide à la décision pour des activités de maintenance. Nous avons également conduit des études industrielles sur l’utilisation de ces approches de

classification et le développement d'un modèle permettant la prédiction de l'indicateur qualité d'un produit en se basant sur les données liées au processus de production.

De nouvelles questions de recherche sur la résilience et la sécurité des systèmes cyber-physiques industriels (SCPI) sont traitées dans l'équipe. Par exemple, la conception de systèmes cyber-physiques industriels sécurisés est une tâche complexe car il faut garantir la sécurité des données, des échanges et des accès et harmoniser les fonctionnalités entre les différentes parties du système et les interactions avec les différents acteurs et cyber-agents. Ces travaux se basent sur des méthodes formelles et des approches sémantiques pour étudier la cyber-sécurité des SCPI associées à des approches d'apprentissage par renforcement pour la génération d'attaques possibles et de contre-mesures envisageables.

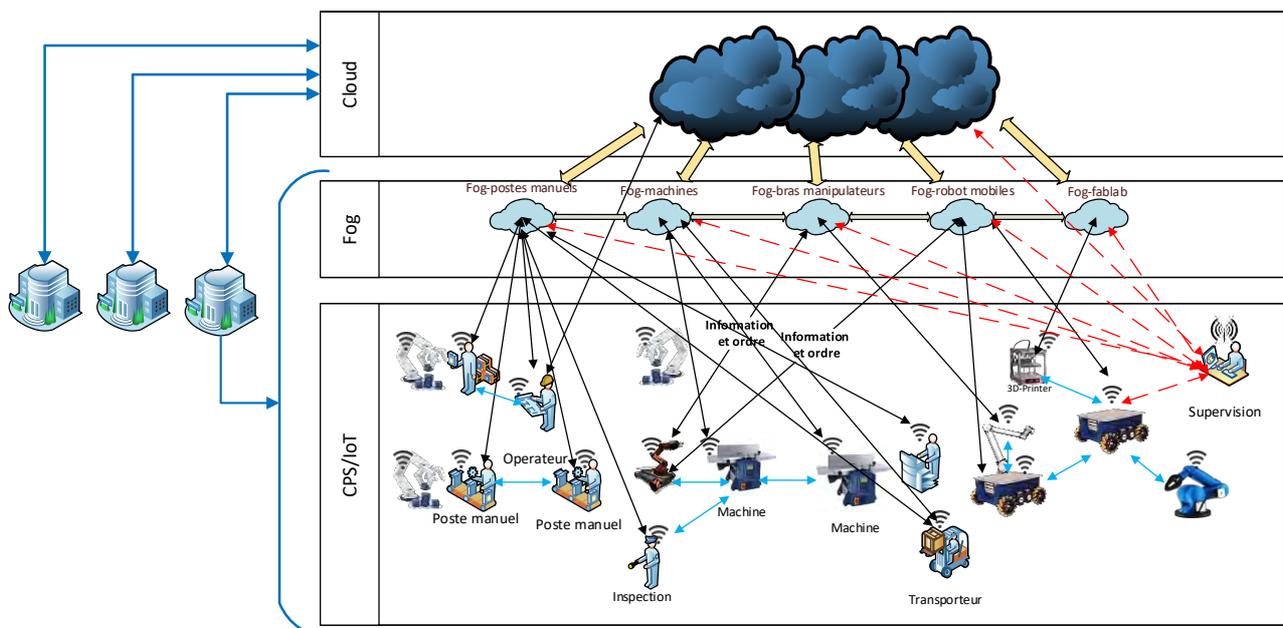


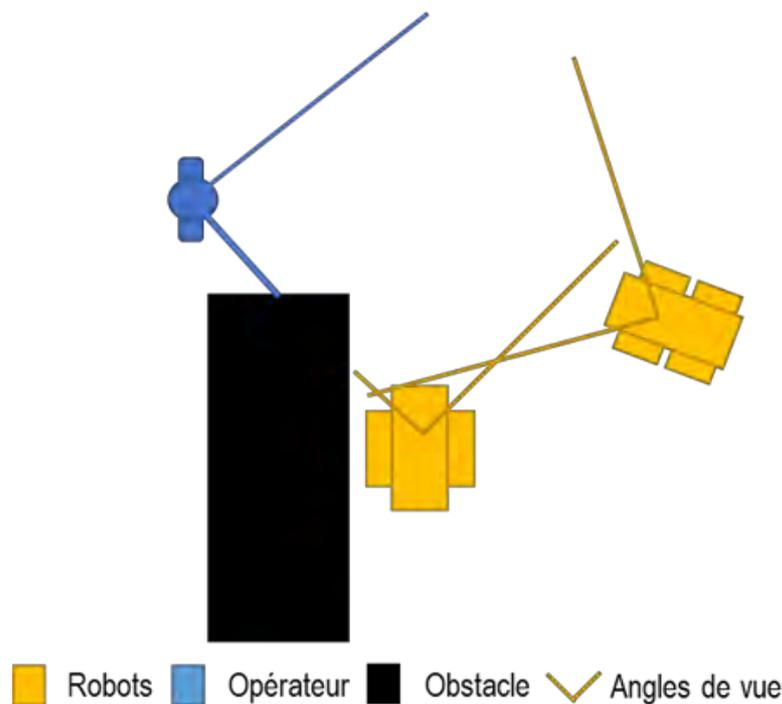
Figure 6 : Fog computing et CPPS

Les robots mobiles collaboratifs habituellement utilisés pour la logistique des produits et des moyens de production peuvent également être utilisés pour l'actualisation des informations sur le jumeau numérique du CPPS. La mise à jour du jumeau numérique est analogue à une actualisation de l'information de carte de l'environnement connu *a priori*. Les questions de recherche soulevées peuvent se situer à différents niveaux : perception et interprétation de la scène (Figure 7), détection de mise à jour des données *a priori*, fusion de différents points de vue espacés spatialement ou temporellement, optimisation de l'actualisation selon des critères de qualités, temps de traitement ou encore d'incertitude de décision...

Les travaux initiés en 2021 sur ce sujet traitent des problématiques de fusion d'information et d'optimisation de l'actualisation avec une coloration forte sur les aspects prise de décision en temps réel. Dans ce cadre, une thèse vient de démarrer sur la problématique de l'utilisation en temps réel du jumeau numérique et de la perception visuelle pour la production de cartes sémantiques d'environnements industriels. Des points de vue multiples (spatiaux ou temporels) peuvent être utilisés afin d'actualiser le jumeau numérique notamment les éléments dynamiques (positions et classes) qui ne peuvent être suivis que par des dispositifs de perception comme les caméras, LiDARs ou RADARs. La question de recherche traitée dans cette thèse est focalisée sur l'allègement des représentations et des raisonnements pour produire une carte sémantique la plus fiable possible.

Le projet COLIBRY, lauréat de l'appel à projets recherche de la Métropole Rouen Normandie, vient interroger des aspects supplémentaires dans le cadre de l'industrie pharmaceutique notamment. Le projet explore les impacts des différentes erreurs de calibrations spatiales et temporelles d'informations collectées depuis des plateformes mobiles équipées ou non de bras. Ces sujets ont un impact important dans la collaboration humain-robot mobile puisque la proximité est fortement réduite dans le cadre du concept de l'industrie 5.0. Dans ce processus collaboratif, les robots disposent également d'informations d'infrastructures qu'ils doivent intégrer afin de fiabiliser une décision d'action ou de mouvement. Au-delà des sujets algorithmiques, le projet COLIBRY vise à mettre à disposition de la communauté

des données en environnements industriels afin de développer les travaux de la communauté sur la robotique mobile collaborative en environnements industriels.



*Figure 7 Situation industrielle bénéficiant de la perception collaborative – Sécurisation des déplacements robots/opérateurs*

Le projet SCOPES, lauréat de l'appel à projets ASTRID Robotique 2021, propose des travaux sur la fusion d'informations de perception à faible niveau de détails en intégrant un raisonnement incertain. Ainsi, les informations de perception ou de localisation sont entachées d'erreurs. Certaines zones de l'environnement ne sont pas observées. Il est primordial de prendre en compte ces éléments afin de produire une vue de situation éclairée par les incertitudes d'observations. Le projet va intégrer les fonctions de croyance dans les représentations basées histogrammes des environnements. Ce point constitue une première contribution du projet. La seconde proposition est l'utilisation d'une variante de graphes robuste aux erreurs de perception afin de réduire l'influence d'un mauvais appariement sur le résultat global de localisation des mobiles. Enfin, la troisième contribution est l'utilisation de réalité augmentée multimodale afin d'apprendre et d'évaluer les algorithmes de perception et de fusion pour une multitude d'objets. L'approche proposée permettra également d'enclencher une démarche incrémentale qui viendra intégrer pas à pas des sources d'incertitude dans les données afin d'évaluer l'impact des différentes sources et de comparer des nouvelles solutions spécifiques ou globales dans le cadre de la perception coopérative entre différents robots.

Les perspectives de recherche portent sur l'étude des systèmes cyber-physiques industriels, les questions de collaboration Homme-robot dans les systèmes de production et le développement des technologies liées à l'intelligence artificielle dans ces systèmes. Différents travaux et projets de recherche, ainsi que des réponses à appels à projets (allocations et projets régionaux, projets ANR) ont été initiés sur ces thématiques :

- Etude de l'intégration des facteurs humains et de l'intelligence artificielle pour l'allocation dynamique des tâches cobotiques dans un contexte industriel,
- Intégration de technologies de localisation et d'interactions homme-machine pour l'opérateur 4.0 et anticipation dynamique de ses perturbations dans les ateliers de production avec le démarrage du projet ANTHIPERT,
- Proposition d'un modèle intégré pour optimiser la résilience des CPPS tout en considérant les aspects humains, organisationnels et économiques. L'apparition des Systèmes de Production Cyber-Physiques (CPPS) est accompagnée, de ce fait, de nouveaux comportements relatifs aux perturbations internes et externes du système,
- Optimisation de la planification/ordonnancement des systèmes de désassemblage,

- Dans le contexte du projet de construction hors-site de la Chaire AVELIS-CESI, différentes questions de recherche liées à l'organisation, la planification et l'ordonnancement des activités de productions et de transports, et cela pour différents niveaux décisionnels sont proposées.

Ces recherches peuvent nécessiter des compétences pluridisciplinaires dans les domaines des Sciences du Numérique, Sciences de l'Ingénieur ou encore des Sciences Cognitives et font l'objet de collaborations avec l'équipe Apprendre et Innover ou avec d'autres équipes académiques.

## Axe 2 – Processus collaboratif et outils numériques.

Un premier volet porte sur les outils numériques tels que la réalité augmentée, la réalité virtuelle, les Environnements Virtuels pour les Apprentissages Humains (EVAH) ou encore les jumeaux numériques. Nous travaillons sur des approches dirigées par les modèles UML ou ontologies pour l'exploitation unifiée des données et connaissances dans un contexte de réalité augmentée / réalité virtuelle pouvant être couplé au jumeau numérique du système industriel ou du bâtiment.

Nous avons poursuivi les travaux sur ces problématiques de modélisation et de scénarisation d'environnements RA/RV notamment dans le cadre de la thèse CIFRE avec la société OREKA Ingénierie. Les travaux ont permis de proposer le modèle de données INTERVALES (INTERActive Virtual and Augmented framework for industrial Environments and Scenarios). Ce modèle permet de formaliser la création des contenus et interactions en réalité virtuelle et en réalité augmentée liés aux procédures et scénarios métiers de systèmes industriels. Une attention particulière a été portée sur l'architecture logicielle du framework INTERVALES afin de permettre une intégration avec les outils du jumeaux numériques (moteur de rendu 3D type Unity, outils de CAO et de simulation, ...). Ce framework est associé à une interface utilisateur 2D basée sur des graphes de nœuds et une interface utilisateur en RV permettant l'édition par démonstration (appelé *authoring-by-doing* en anglais). Les résultats des études expérimentales et des analyses conduites permettent de conclure sur l'efficacité de l'édition par démonstration pour des procédures séquentielles et de l'intérêt d'une approche hybride pour des procédures plus complexes (Figure 8).

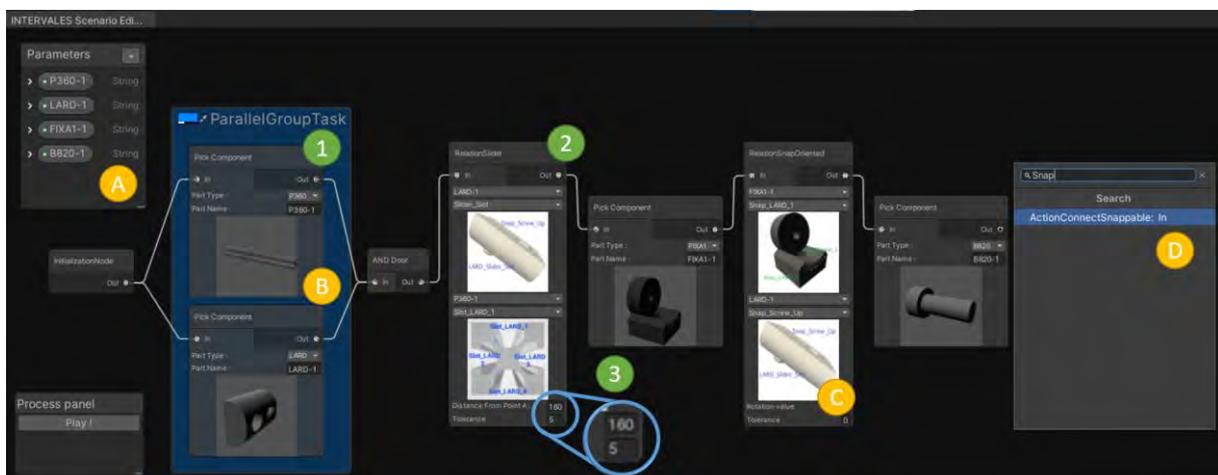


Figure 8 : Interface graphique du premier prototype d'éditeur de scénario INTERVALES

Nous avons également poursuivi les travaux de recherche sur des architectures permettant la conception d'environnements virtuels collaboratifs et intégrés au Jumeau Numérique de la plateforme Industrie du futur du campus de Rouen. Plus spécifiquement, des approches de co-simulation permettant le couplage entre les outils de réalité virtuelle et les approches de modélisation et de simulation de système de production, à travers le jumeau numérique, pour étudier ou évoluer dans des environnements dynamiques ont été proposées. Ces travaux vont être poursuivis dans le cadre du projet JENII (Jumeaux d'Enseignement Numériques, Immersifs et Interactifs).

En complément du domaine de l'industrie manufacturière, les applications de ces travaux pour de la formation ou du soutien à des opérations dans le domaine de la construction en s'appuyant sur la RV/RA et le BIM font l'objet d'une thèse CIFRE avec VINCI Construction France. Nous nous intéressons notamment aux architectures d'échanges de données entre le BIM, les bases de connaissances métiers et les environnements virtuels et augmentés. Les travaux

ont permis de formaliser en ontologie et en UML les connaissances métiers du chantier et des bureaux d'études qui constituent les modes opératoires et de proposer un système permettant d'utiliser et d'exploiter ces connaissances, le Building Information Modeling (BIM) et ses métadonnées afin de les représenter dans une simulation interactive en Réalité Virtuelle. Enfin, en collaboration avec le laboratoire LARIS, nous avons poursuivi le projet de recherche sur des approches mixtes RA/RV pour le suivi et l'optimisation de la performance en exploitation de bâtiments intelligents.

Nous avons également poursuivi le projet de recherche, s'appuyant sur une thèse, sur la reconnaissance d'action humaine basée sur des approches de deep learning pour des applications de collaboration Homme-robot.

Outre l'adaptation d'algorithmes de deep learning et la création d'un dataset sur des opérations industrielles, les approches explorées portent sur de la génération de données à partir du jumeau numérique associé à un environnement virtuel permettant de simuler le processus d'assemblage (Figure 9). Dans un autre projet de recherche, des travaux ont également porté sur une nouvelle méthode d'apprentissage basée sur des Siamese network pour la reconnaissance des gestes de la main à partir de séquences de squelettes de la main en 3D.

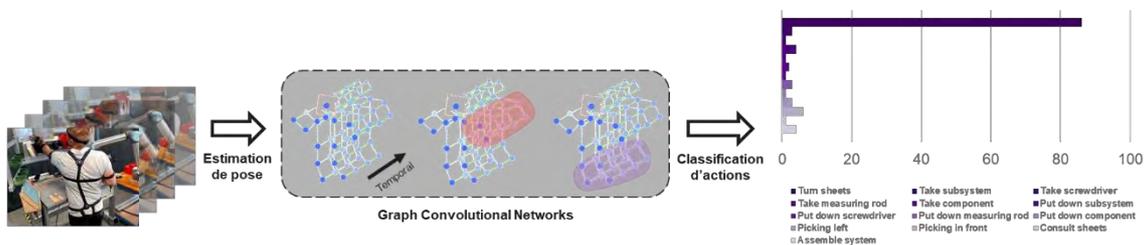


Figure 9 : Collaboration Homme-Robot et reconnaissance d'actions humaines

Plus globalement, les perspectives de recherche portent sur l'utilisation de méthodes issues de l'intelligence artificielle (IA) pour la création d'EVAHs dynamiques et le suivi de l'apprenant en intra ou inter sessions. Dans ce cadre, nous avons poursuivi, avec l'équipe du thème 1, le projet NUMERILAB, soutenu par la Région Normandie et les fonds européens de développement régional (FEDER), sur les environnements numériques instrumentés pour les apprentissages humains s'appuyant sur nos compétences pluridisciplinaires dans les domaines des Sciences du Numérique, de l'Informatique, des Sciences Sociales et Cognitives. Les enjeux de recherche et d'innovation portent sur la modélisation et le développement de ces environnements numériques instrumentés et des outils de scénarisation et de suivi pédagogique associés pour permettre leur utilisation comme environnement d'apprentissage. Ils portent également sur l'analyse des activités et données d'apprentissages, en introduisant des méthodes d'IA, pour permettre des mises en situation (simulation) dynamiques et adaptatives. Dans le cadre de ce projet, nous avons proposé le dataset IVRASED (Industrial Virtual Reality Activity Self-Efficacy Dataset) permettant d'obtenir, de manière synchrone, des données temporelles des capteurs: EEG, ECG, GSR, Eye-tracking, associées au sentiment de compétence déclaré par le participant, lors de la réalisation d'activités d'assemblage industriel en réalité virtuelle (Figure 10). L'étude d'algorithmes de classification de données temporelles multivariées a permis l'utilisation de l'architecture d'apprentissage profond MLSTM avec le dataset IVRASED pour de la classification binaire du sentiment de compétence et l'étude de l'influence des capteurs utilisés lors de l'apprentissage. 63 combinaisons possibles parmi les capteurs inclus dans le dataset IVRASED ont été testées. Des techniques d'augmentation de données ont été mises en place et ont amélioré la précision jusqu'à 10%. Le meilleur résultat a été obtenu avec la combinaison Eye-tracking – ECG, avec une précision de 77,8%.

Des projets de recherche ont également été déposés sur la thématique de l'opérateur 4.0 avec pour objectif de coupler les travaux sur la modélisation des procédures en RA/RV avec des approches d'IA pour la reconnaissance d'actions et de pièces afin d'assister les opérateurs sur des opérations d'assemblage.

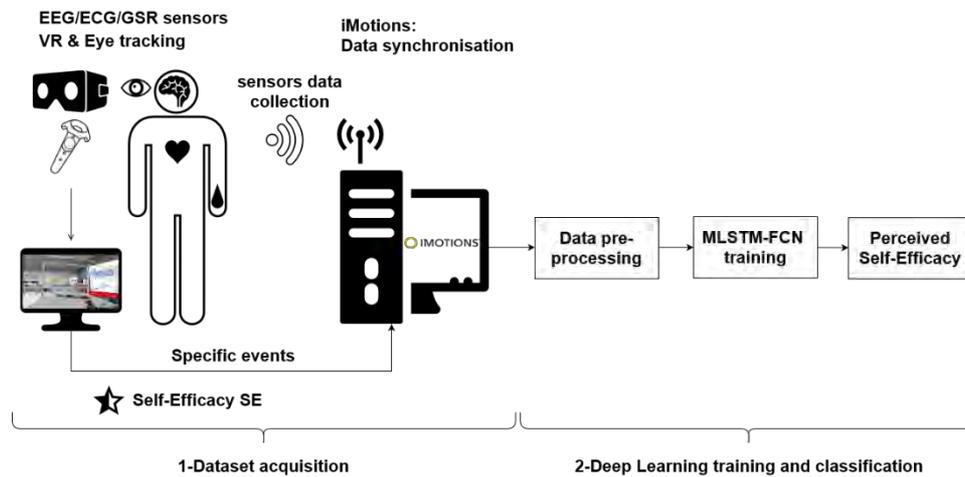


Figure 10 : Protocole d'acquisition du jeu de données IVRASED (Industrial Virtual Reality Activity Self-Efficacy Dataset).

Le second volet porte sur la modélisation des processus de collaboration entre un donneur d'ordre et ses sous-traitants afin de décrire les activités liées aux phases de développement et de fabrication. Des travaux ont été dédiés au développement des modèles d'adoption et de maturité du PLM (Product Lifecycle Management) par les PME afin qu'elles puissent évaluer leur niveau de maturité et identifier les facteurs ayant un impact sur cette adoption.

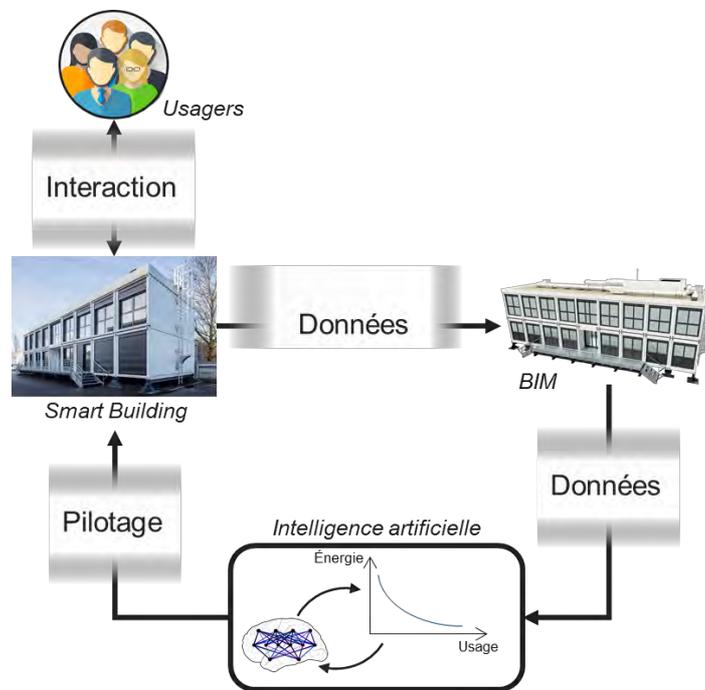
Nous nous intéressons en parallèle à la formalisation et à la proposition d'un modèle prescriptif de déploiement d'une stratégie de création de valeur optimale dans le domaine des PME. Ces travaux ont fait l'objet de la thèse de Jean-Marc Vasnier, soutenue en décembre 2021, en collaboration avec le laboratoire LCPI de l'ENSAM. La question principale porte sur la possibilité de concevoir un outil "d'aide à la formalisation et à la communication de la stratégie" adapté aux PME industrielles. Plusieurs apports théoriques sur les fonctionnalités à intégrer au Tableau de Bord Prospectif (ou BSC) pour le rendre apte au monde des PME, sur la simplification d'une analyse des risques grâce à une simulation Monte Carlo et sur les caractéristiques fonctionnelles et visuelles d'un tableau de communication des risques sont proposés.

Les travaux de recherche sur les processus de construction en couplant les outils Lean et BIM, qui font notamment l'objet d'études dans le cadre d'une thèse CIFRE avec ENGIE Axima, ont été poursuivis. Ils portent sur l'amélioration de la performance opérationnelle en combinant Lean et BIM en phase d'exécution. A court terme, nous souhaitons étudier la transférabilité des méthodes et outils développés sur des problématiques de collaboration dans le secteur de l'industrie au secteur du bâtiment. Des travaux portent sur les modèles de maturité du BIM et de technologies associées. Une première spécification d'un modèle de maturité RA/RV associé au BIM a été proposée. Le modèle proposé a été conçu sur la base des modèles de maturité existants les plus connus pour les technologies BIM et RA/RV et trois principaux niveaux de maturité ont été identifiés. Ces travaux ont permis de lancer un projet de thèse fin 2021. Des perspectives à moyen terme portent aussi sur des approches couplées entre le BIM/PLM ou BLM (Building Lifecycle Management) et des méthodes de classification de données et d'apprentissage pour piloter les processus et gérer les connaissances.

**Axe 3 - Systèmes urbains durables.**

Dans cet axe, les travaux portent sur la modélisation et l'optimisation pour l'efficacité énergétique des bâtiments et la maîtrise de la qualité de l'ambiance intérieure. L'équipe s'intéresse par exemple à la modélisation des performances énergétiques et de l'ambiance intérieure de bâtiment en s'appuyant sur une modélisation nodale et zonale de la distribution de l'air dans un espace clos. L'objectif principal de ces travaux est d'optimiser les performances globales de bâtiments que ce soit en construction neuve ou en rénovation.

Dans le projet DEFI&Co, des travaux sont positionnés sur le pilotage intelligent de bâtiment en prenant en compte le comportement des usagers et les données liées au bâtiment au travers de la maquette BIM. Ces travaux se déroulent en collaboration avec le laboratoire DAVID – Université de Versailles Saint Quentin. Ils s'intéressent notamment à l'utilisation de méthode d'apprentissage par renforcement en utilisant la notion de confort adaptatif. Une approche d'apprentissage par renforcement sans modèle pour le contrôle énergétique d'un bâtiment avec comportement non stationnaire de l'utilisateur a été proposée (Figure 11). Ces travaux sont complétés par ceux se déroulant dans le projet FEDER GPS et s'intéressant aux algorithmes d'apprentissage pour le pilotage des SMART Building dans un contexte de SMART Grid. Une méthode distribuée d'apprentissage par renforcement pour la gestion d'un réseau intelligent interconnectant des consommateurs indépendants a été mise en place.



*Figure 11 : Apprentissage dynamique pour le pilotage intelligent de bâtiments*

Une seconde thèse en collaboration avec l'IRDL – Université de Bretagne Occidentale est positionnée et vise à développer un outil d'aide à la décision pour des applications de gestion énergétique du bâtiment et des services innovants à ses usagers. Cette thèse, présentée par Abhinandana Boodi, a été soutenue début 2021. Ces travaux s'intéressent notamment à la modélisation multizone et à la commande prédictive pour optimiser l'énergie dans un bâtiment intelligent (Figure 12). Le contrôleur MPC (commande prédictive) est appliqué pour le bâtiment cas d'étude pour l'optimisation du confort thermique. Les résultats de simulations obtenus démontrent l'importance du contrôleur MPC dans la gestion des contraintes, le contrôle multi-objectifs et la génération d'une stratégie de contrôle optimale. Les résultats de l'optimisation énergétique montrent une réduction de 31% de la consommation d'énergie par rapport à un contrôleur conventionnel. Cette thématique fait l'objet d'un nouveau projet de recherche avec l'IRDL s'intéressant notamment à la prise en compte du comportement des occupants dans les stratégies de gestion d'énergie.

Nous travaillons également sur le développement de méthodes et d'outils permettant d'optimiser l'implantation de réseaux de capteurs utilisés dans le cadre d'un bâtiment intelligent, tout en garantissant un niveau de fiabilité raisonnable. *Via* des collaborations nationales et internationales, les travaux de recherche portent sur le couplage entre la maquette BIM et les outils d'optimisation du déploiement de capteurs sans fil autonomes ou non en énergie. Ces travaux font notamment l'objet de la thèse intitulée « *Optimisation du déploiement de capteurs dans les smart building* » qui a démarré début 2021 avec l'Institut IRMAS de l'Université de Haute Alsace.

Comme pour l'axe 1, sur les systèmes cyber-physiques industriels, nous développons des techniques basées sur des méthodes formelles et des méthodes d'exploration de données pour assurer la sécurité (cyber sécurité), la sûreté et la fonctionnalité de systèmes complexes comprenant différents aspects (logiciels, matériels, physiques et sociaux). Ces méthodes sont appliquées sur des systèmes cyber-physiques de la ville du futur tels que des bâtiments intelligents ou des véhicules autonomes.

Dans le cadre de la Chaire d'enseignement et de recherche « Ville du futur et économie circulaire » créée par CESI et le groupe ESSOR, des travaux de recherche portent sur l'analyse prédictive et le BIM dans le contexte de la ville intelligente et durable. Une thèse CIFRE s'inscrivant dans le cadre de cette Chaire a démarré en février 2021. Les travaux de recherche portent également sur l'analyse des masses de données, la simulation et le développement de modèles prédictifs qui représentent des enjeux importants pour la fourniture de services aux usagers et le développement d'outil d'aide à la décision pour les acteurs de la ville dans le contexte de la ville intelligente et des systèmes de transport intelligents. Ces travaux se déroule dans le cadre du projet TIGA « Rouen Mobilités Intelligentes pour tous » porté par la Métropole Rouen Normandie.

Les perspectives portent sur le développement de travaux de recherche sur les mobilités partagées notamment à travers la participation d'enseignant-chercheur à la Chaire Mobilité et Transports Intelligents sur Bordeaux. Enfin, en complémentarité des travaux de recherche sur les approches prédictives et l'IA dans le domaine de l'industrie, nous souhaitons également initier des travaux de recherche sur la maintenance prédictive appliquée aux smart buildings en s'appuyant sur des approches de type réseaux bayésiens et les jumeaux numériques pour de la génération de données.

	Thermal system	Unit	Electrical system	Unit
Parameter	Temperature $T$	[K]	Voltage $V$	[V]
Source	Heat flux $\Phi$	[W]/[J/s]	Current $I$	[A]
	Conductivity $k$	[W/k*m2]	Conductivity $\rho$	[A/V*m2]
Element	Thermal resistance $R$	[K/W]	Electrical resistance $R$	[ $\Omega$ ] [V/A]
	Thermal capacitance $C$	[J/K]	Electrical capacitance $C$	[F] [C/V]

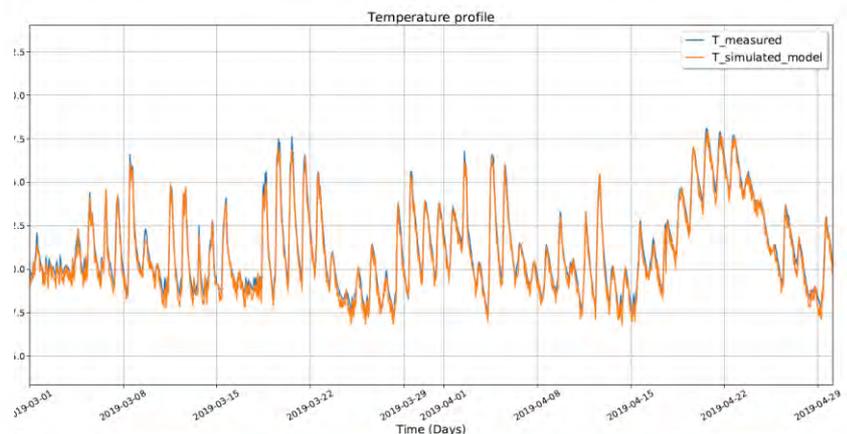
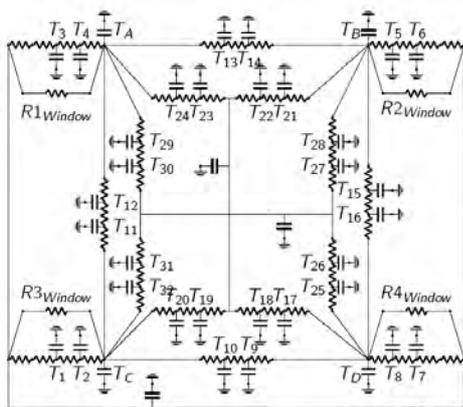


Figure 12 : Modélisation multizones et commande prédictive pour optimiser l'énergie dans un bâtiment intelligent.

## 2.2.2 Evolutions du thème de recherche

Le thème « Ingénierie et Outils Numériques » connaît une évolution significative de ses effectifs. Cette évolution accompagne le développement thématique des activités de formation du groupe CESI. Les politiques nationales et internationales de recherche connaissent des développements importants avec une meilleure adaptabilité des services numériques au monde physique. Cela passe notamment par une collaboration améliorée avec l’humain dans laquelle les services numériques supportent l’effort d’adaptation. Les services numériques doivent également permettre de mieux adapter la phase de déploiement applicatif qui peut faire l’objet d’une conception amont en environnement virtuel ou une modélisation à échelle réduite.

Toutes ces problématiques liées à l’intégration et un meilleur couplage des services numériques dans le monde physique requièrent le développement de connaissances spécifiques autour de techniques avancées particulières. Ces techniques sont regroupées dans un nouvel axe nommé « Techniques Avancées pour l’Industrie et la Construction ». Il intègre notamment les processus de fabrication innovants autour du déploiement de la fabrication d’ensembles complexes conçus en environnements virtuels. Nous pouvons également y trouver la robotique appliquée qui permet d’assurer l’interface au travers d’actionneurs ou de vecteurs entre le monde virtuel et le monde physique. Enfin un dernier sous-axe permet de développer de nouvelles connaissances sur les différentes étapes du cycle de vie de systèmes multi-matériaux (conception, assemblage, exploitation, désassemblage, ...) avec passage à l’échelle et déploiements applicatifs de matériaux conçus, caractérisés et modélisés de manière singulière.

Cette actualisation du thème a également été l’occasion d’une simplification de l’organisation des axes avec une structuration en 3 sous-axes par axe (Figure 13 et Figure 14). L’axe 1 a été restructuré pour une meilleure lisibilité et l’axe 2 est purement numérique avec différents services numériques. Cette organisation fait apparaître les compétences de plus en plus présentes en IA au sein du laboratoire sous la dénomination « Automatisation Avancée ». L’axe 4 fait maintenant apparaître différentes interfaces clés dans les systèmes urbains : partage des ressources entre unités urbaines, interactions de l’humain avec ces unités urbaines consommatrices de ressources et enfin interface entre les différents vecteurs de mobilités des biens et des personnes. L’apparition de la mobilité partagée est notamment motivée par l’intégration de LINEACT CESI en qualité de partenaire des TIGA Mobilité de la Métropole de Rouen Normandie et de la Chaire Mobilité et Transports Intelligents.

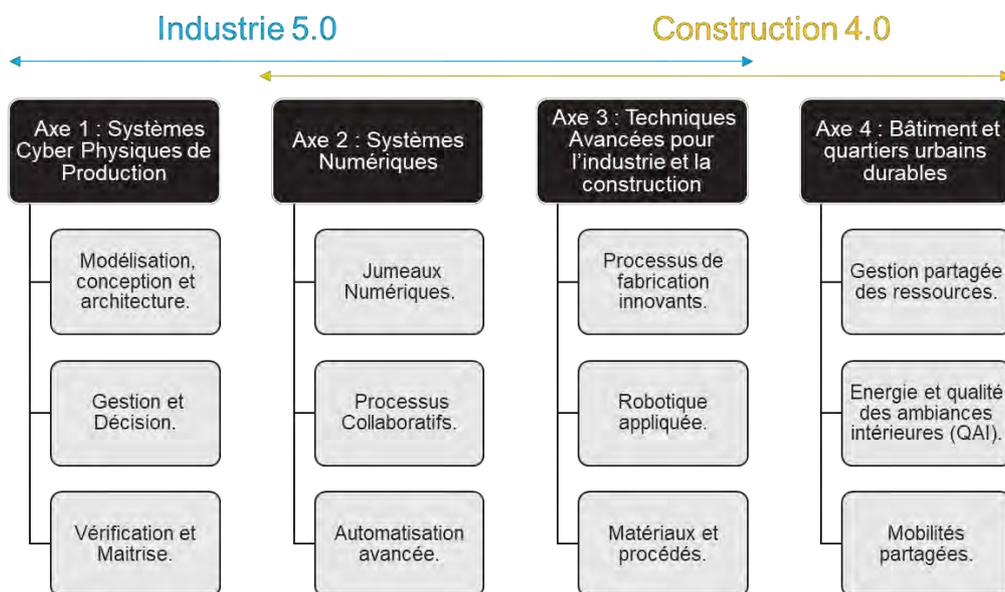


Figure 13 : Évolution des axes de recherche du thème 2

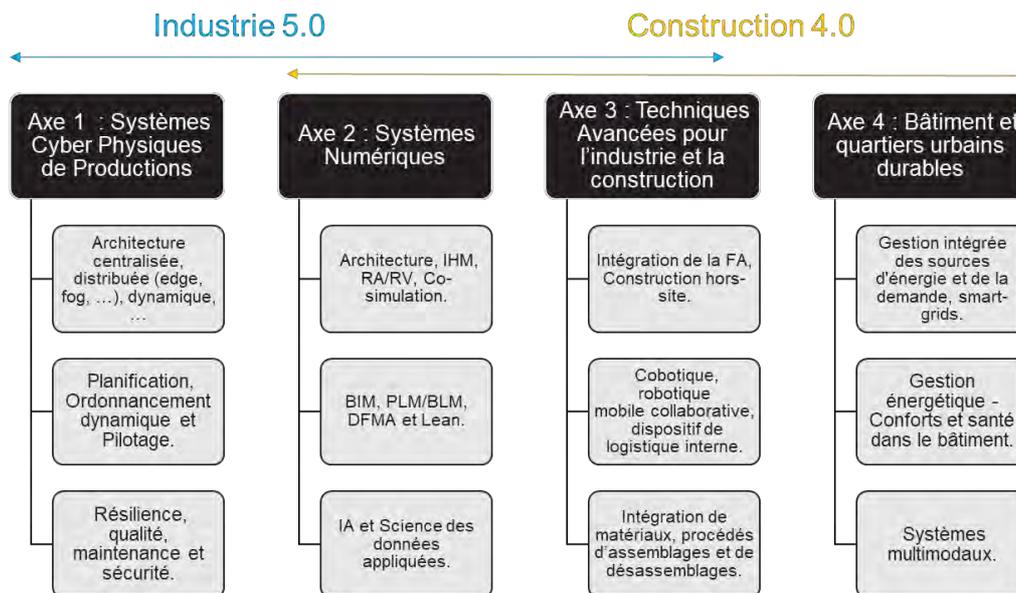


Figure 14 : Mots-clés par axe de recherche

### 2.2.3 Tableau des effectifs à avril 2022

Equipe :

Responsables du thème	BAUDRY David, <i>HDR</i> DUPUIS Yohan, <i>HDR</i>	
Enseignants-chercheurs	ABOUELAZIZ Ilyass AL ASSAAD Hiba ASSILA Ahlem BEDDIAR Karim, <i>HDR</i> BELADJINE Djaoued BEN AYED Safa BENATIA Amin BETTAYEB Belgacem BETTINI William BEZOUJ Madani BOODI Abhinandana BRAHMIA Amine CHAIEB Ramzi COHEN BOULAKIA Benjamin CORDEIRO Katia, <i>HDR</i> CORMIER Pierre-Antoine DE BARROS Silvio, <i>HDR</i> DUVAL Fabrice, <i>HDR</i> EL KHALFI Zeineb EL ZAHER Madeleine FOUCRAS Myriam GARCIA David GHALMANE Zakariya GUIRAUD Maël HAFSI Meriem HAMOUR Nora	HAVARD Vincent HINDAWI Mohammed IHSANE Imane ITURRALDE Mauricio JEBLI Mouad JOUANE Youssef LOUIS Anne, <i>HDR</i> MAZARI Bélahcène, <i>HDR</i> MEKHALEF BENHAFSSA Abdelkader MESSAADIA Mourad MOURCHID Youssef NAIT CHABANE Ahmed NOBLECOURT Sylvain OUCHANI Samir PALLARES Gaël PENOT Jean-Daniel RAGOT Nicolas SADEGHIAN Roozbeh SAHNOUN M'hammed, <i>HDR</i> SALMI Rim SLAMA Ihlem SOUFI Abderrhamane TLAHIG Houda YOUNESS Genane ZGHAL Mourad, <i>HDR</i>

Thèses en cours :

NOM	prénom	Directeur de thèse	Co-directeur	co-encadrant 1	co-encadrant 2	Année de début de thèse	Titre de la thèse	Ecole Doctorale
ACHOUR	Abdessalem	Y. DUPUIS, CESI		M. EL ZAHER, CESI	H. AI ASSAAD, CESI	2021	Cartographie sémantique en temps réel via la fusion de données issues des perceptions individuelles d'un essai de robots mobiles dans un contexte industriel homme-robot	ED SMI 432
AYADI	Amal	A. LOUIS, CESI		A. BENATIA, CESI	R. CHAIEB, CESI	2021	Diagnostic et Pronostic à l'aide de l'IA dans le cadre de la maintenance industrielle	ED SMI 432
BOUAM	Mellila	E. CRAYE, ESIGELEC	Y. DUPUIS, CESI	A. DZIRI, Vedecom		2020	Détection d'objets par caméras événementielles	ED MIIS 590
BOUAZIZ	Nourddine	M. SAHNOUN, CESI	Y. ADNANE, Univ. Le Havre Normandie	B. BETTAYEB, CESI		2022	Ordonnancement dynamique prédictif d'atelier de production flexible sous incertitude du comportement humain	ED SMI 432
BOUILLON	Catherine	F. DUVAL, CESI		K. BEDDIAR, CESI	B. COHEN BOULAKIA, CESI	2021	Analyse prédictive et BIM dans le contexte de la ville intelligente et durable	ED SMI 432
CAILLOT	Antoine	Y. DUPUIS, CESI	R. BOUTTEAU, Univ. Rouen	S. OUERGI, ESIGELEC		2019	Perception collaborative embarquée-débarquée.	ED MIIS 590
COUPRY	Corentin	D. BIGAUD, Univ. Angers	D. BAUDRY, CESI	S. NOBLECOURT, CESI	P. RICHARD, Univ. Angers	2020	Approche mixte RV/RA pour le suivi et l'optimisation de la performance en exploitation de bâtiments intelligents	ED SPI 602
DALLEL	Mejdi	D. BAUDRY, CESI		V. HAVARD, CESI		2018	Reconnaissance de gestes humains par apprentissage profond et génération de données étiquetées en réalité virtuelle	ED MIIS 590
DESTOQUET	Candice	B. MAZARI, CESI		H. TLAHIG	B. BETTAYEB	2022	Application des techniques d'IA aux problèmes d'ordonnancement dynamique d'ateliers de type « job shop flexible » dans le contexte d'Industrie 5.0	ED SMI 432
EL MOUNLA	Karim	B. MAZARI, CESI		K. BEDDIAR, CESI	D. BELADJINE, CESI	2021	Approche Lean-BIM pour l'amélioration des performances d'un projet de construction en phase de conception	ED SMI 432
FAHEM	Zerrouki	H. BOUARFA, Université de Blida, Algérie		S. OUCHANI, CESI		2019	A Robust Security Communication through a Mobile and IoT Physical Unclonable Function	
HADDAM	Nassim	D. BARTH, UVSQ		B. COHEN BOULAKIA, CESI		2018	Machine Learning pour le pilotage énergétique intelligent de Bâtiments	ED STIC 580
HEMENO	Pierre	M. SAHNOUN, CESI		A. NAIT-CHABANE, CESI		2021	Optimisation multi-objectifs de la collaboration homme-robot basée sur l'intelligence artificielle : application à l'industrie aéronautique	ED SMI 432
KANTHILA	Chinmayi	M. BENBOUZID, UBO		K. BEDDIAR, CESI		2020	Towards a Global and Systemic Approach for a Sustainable, Intelligent and Energy Autonomous Building	ED SPI 602
MARQUES	Eduardo	S. DE BARROS, CESI	P. CASARI, GeM	Shahram Khazaie, GeM		2021	Utilisation de modèles d'apprentissage machine dans la caractérisation et la prédiction du comportement en fatigue des structures composites stratifiées.	ED SPI 602
MILOUD	Dahmane Walid	H. BOUARFA, Université de Blida, Algérie		S. OUCHANI, CESI		2018	Sécurité par construction à l'aide de méthodes formelles et de Blockchain : Application aux réseaux IoT dans les villes intelligentes	
MONLA	Ziad	M. ZGHAL, CESI		A. ASSILA, CESI	D. BELADJINE, CESI	2022	Maturité des systèmes de réalité virtuelle et augmentée couplés au BIM en phase exploitation et maintenance du bâtiment.	ED SMI 432
MORIN DUPONCHELLE	Guillaume	B. ZERR, ENSTA Bretagne		A. NAIT-CHABANE, CESI		2018	Reconnaissance de points d'intérêts pour un robot d'inspection dans un environnement contraint et dégradé	ED MATH-STIC 601
RIAHI	Kenza	L. IDOUMGHAR, UHA		A. BRAHMIA, CESI		2021	A Smart and Trusted Healthcare System based on Optimal Block Chains	ED MSII 269
RICHARD	Killian	D. BAUDRY, CESI		V. HAVARD, CESI		2019	Proposition d'un modèle de données basé sur les ontologies pour la scénarisation d'Environnements Virtuels ou Augmentés dans un contexte industriel.	ED SMI 432
SAHBANI	Bouchra	A. LOUIS, CESI		A. BENATIA, CESI	G. PALLARES, CESI	2022	Supervision prédictive d'un système de transport multimodal	ED SMI 432
SANOGO	Kader	M. SAHNOUN, CESI		A. MEKHALEF BENHAFSSA, CESI		2021	Optimisation de l'ordonnancement des tâches de transport des robots intelligents collaboratifs dans le contexte de l'Industrie 5.0	ED SMI 432
SAUTOT	Camille	S. DE BARROS, CESI	M. EL MAHI	JC. CRAVEUR		2021	Approche numérique de la tenue en fatigue d'un composant passif constitué d'un empilement de couches minces soumis à des cycles thermiques.	ED SPI 602
SCHIBANI	Sébastien	A. LOUIS, CESI		Y. DUPUIS, CESI		2021	Impact d'une approche numérique sur le développement d'un	ED SMI 432
SBITI	Maroua	B. MAZARI, CESI		K. BEDDIAR, CESI	D. BELADJINE, CESI	2020	"Lean - BIM " en construction ; Comment améliorer la performance opérationnelle en combinant le Lean et le BIM en phase exécution	ED SMI 432
SCHIAVI	Barbara	D. BAUDRY, CESI		V. HAVARD, CESI	K. BEDDIAR, CESI	2020	Développement de méthodes et outils afin d'améliorer les échanges d'informations entre le BIM, les bases de connaissances métiers et les environnements virtuels ou augmentés dans les projets de construction	ED SMI 432
SEKKAT	Rida	P. HONEINE, Univ. Rouen	P. VASSEUR, UPJV	Y. DUPUIS, CESI		2018	Segmentation d'images fisheye embarquées pour l'analyse du comportement du motard.	ED MIIS 590
VENON	Arthur	E. CRAYE, ESIGELEC	Y. DUPUIS, CESI	P. VASSEUR, UPJV		2020	Odométrie par radar mmWave pour le véhicule autonome	ED MIIS 590
ZAIMEN	Khaoula	L. IDOUMGHAR, UHA		A. BRAHMIA, CESI	A. ABOUAISSA, UHA	2021	Optimisation du déploiement de capteurs dans les smart building / optimising sensors deployment in smart buildings	ED MSII 269

## 2.2.4 Produits et activités de recherche du thème Ingénierie & Outils Numériques

### Thèses soutenues en 2021-2022

NOM	prénom	Directeur de thèse	Co-directeur	co-encadrant 1	co-encadrant 2	Année de soutenance	Titre de la thèse	Ecole Doctorale
BOODI	Abhinandana	M. BENBOUZID, UBO		K. BEDDIAR, CESI	Y. AMIRAT, ISEN	2021	Bâtiment Intelligent : Vers une Approche Globale et Systémique Visant l'Autonomie Energétique	ED SPI 602
BOUZARKO UNA	Imen	C. GOUTT, INSA Rouen	D. BAUDRY, CESI	M. SAHNOUN, CESI		2021	Traitement en temps réel distribué dans les systèmes cyber physique industriels	ED MIIS 590
MAZAR	Mérouane	A. LOUIS, CESI		N. KLEMENT, ENSAM	B. BETTAYEB, CESI	2022	Simulation et optimisation de la gestion dynamique de tâches évolutives sur des robots mobiles autonomes.	ED SMI 432
VASNIER	Jean-Marc	A. AOUSSAT, ENSAM		M. MESSAADIA, CESI	N. MAZANZAN A, ENSAM	2021	Formalisation d'un modèle prescriptif de déploiement d'une stratégie de création de valeur optimale. Application au domaine des PME	ED SMI 432
XU	Yiyi	A. LOUIS, CESI	F. ABDELAZIZ, NEOMA	M. SAHNOUN, CESI		2021	Sim-Optimisation du Système de traitement des BIOdéchets en utilisant des systèmes multi-agents et d'optimisation multi-objective.	ED MIIS 590
BELLAL	Salah Eddine	Leila Hayet MOUSS, Université de Batna	M. SAHNOUN, CESI			2021	Exploration du potentiel de la vision artificielle pour la reconnaissance d'objets en vue d'une conception d'un dispositif intelligent dans un contexte industriel	
BEZZAOUCH A	Fatima	BENSLIMANE Sidi Mohamed	M. SAHNOUN, CESI			2021	Modélisation, de la propagation de pannes à base d'architecture distribuée pour l'implémentation de la maintenance proactive dans des systèmes de production énergétique	
WASSILA	Abdellaoui	M. SOUIER	M. SAHNOUN, CESI			2021	Modélisation, ordonnancement d'un système de transport multi-produit - un cas d'étude Algérien	
MOREIRA AROUCHE	Marcio	S. TEIXEIRA DE FREITAS, Delft University of Technology	S. DE BARROS, CESI			2021	Mixed-mode fracture of composite-to-metal bonded joints : a strain-based partitioning method	
AMARAL ALVES	Lais	N. LEKLOU, Université de Nantes / GeM	S. DE BARROS, CESI			2021	Formulation and durability for slag based pure geopolymers composite reinforced with fibers	
VIANA PASSOS	Ana Carolina	E. MARTINS SAMPAIO, Rio de Janeiro State University	S. DE BARROS, CESI			2021	Study of the adhesion of polyurethane and epoxy adhesives on geopolymers and composite substrates	

### HDR soutenues en 2022

NOM	Prénom	Titre de la HDR	Etablissement	Date de soutenance
BEDDIAR	Karim	Sur les apports de la modélisation, l'expérimentation et les outils de la construction 4.0 à la performance du bâtiment	CNAM	24/01/2022
CORDEIRO MENDONÇA	Kátia	Vers les bâtiments à haute efficacité énergétique et niveau élevé de confort thermique et de qualité de l'air intérieur	CNAM	24/01/2022

### Publications 2017-2022

Catégorie	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
ACL	4	3	7	15	14	10	53
C-ACTI	10	17	31	23	30	5	116
C-ACTN	7	7	3				17
C-AFF		2			1		3
C-COM	1	3	1				5
C-INV				2	1		3
OS	1	1	1	1	1		5
Thèse		1	1	2	2		6
BRE	1			1			2
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>34</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>49</b>	<b>15</b>	<b>210</b>

La synthèse de la production scientifique de l'équipe de recherche Ingénierie et Outils Numériques est présentée sur le graphique suivant :

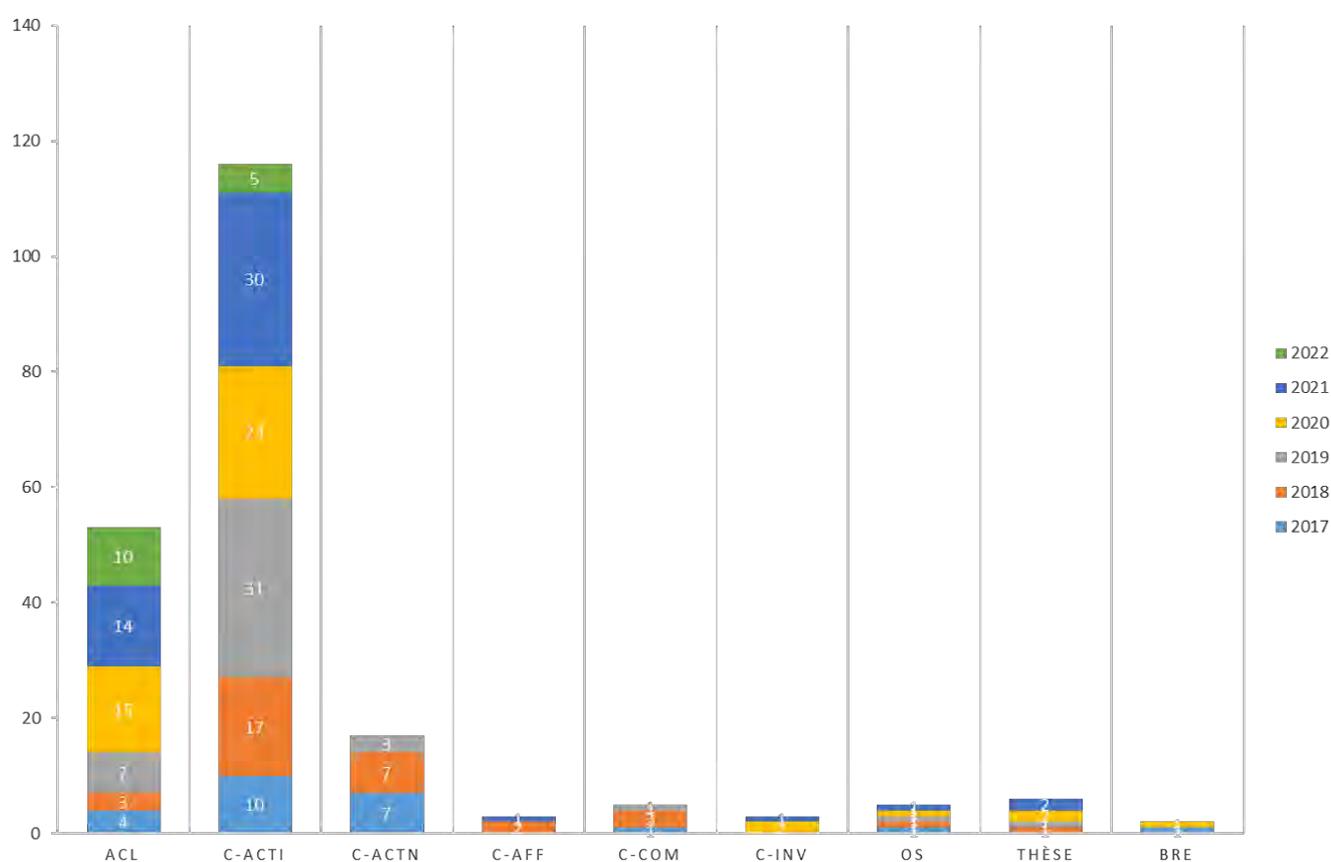


Figure 15 : Publications du thème Ingénierie & Outils Numériques

## 3 Les Projets structurants

### 3.1 JENII

Le projet **JENII** (Jumeaux d'Enseignement Numériques, Immersifs et Interactifs), ANR-21-DMES-0006, est un démonstrateur de l'enseignement supérieur, soutenu par le programme d'investissement d'avenir « DemoES » 2021 et regroupant un consortium de trois partenaires académiques membres de HESAM Université : l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM), le Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM), le groupe d'enseignement supérieur et de formation professionnelle (CESI) et un centre de recherche technologique de référence, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

Le projet d'une durée de 3 ans a débuté en Novembre 2021.

L'ambition du projet est de proposer une offre de formation spécifique pour l'industrie du futur fondée sur la technologie des jumeaux numériques immersifs et collaboratifs de systèmes industriels réels. Cette offre est destinée à impacter une large diversité d'apprenants, de formateurs et d'établissements d'enseignement technologique. Intégrant des aspects de personnalisation, d'accès multi-site et de multi-modalité, cette nouvelle offre de formation permettra d'une part de donner accès à distance aux systèmes industriels réels dans leur complexité propre et d'autre part d'utiliser pour la formation des outils qui font ou feront partie du monde industriel lui-même.

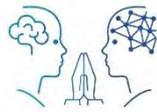
**Le projet JENII fait rupture dans la formation technologique puisque l'objet et la méthode de formation évoluent de conserve avec le contexte auquel ils forment. Le projet JENII permet de transformer le paradigme de la formation technologique par deux avancées majeures :**

- **Mettre à disposition des environnements de formation technologique accessibles à distance**, sans avoir recours à des représentations virtuelles simplifiées du monde industriel plus synonymes de jeu que d'univers de formation, constituant une clôture ludique au lieu d'être une ouverture à un monde auquel on se prépare ;
- **Permettre le développement et la diffusion rapides des outils pédagogiques** nécessaires pour accompagner les évolutions technologiques et les métiers de l'industrie, par une mise à disposition rapide d'un environnement développé par un partenaire à un besoin de formation exprimé par un autre.

Le projet vise à développer des nouveaux environnements d'apprentissage, des modèles de formation et des méthodologies pour permettre le déploiement (matériel et humain), l'adaptation à des formations individualisées et multimodales, la formation des formateurs et l'accompagnement à la transformation. Les acteurs du projet sont investis dans la formation technologique, initiale et professionnelle, à différents niveaux (ingénieurs, techniciens) dans une logique de réseau national. Ils ont chacun une proximité forte avec le monde industriel (formation et recherche). Enfin, le projet intègre sur l'ensemble des objectifs à atteindre et du plan d'action une logique de partenaires et de territoires (EdTech et industriels pour le partage des outils et connaissances - stratégie de diffusion open source et Creative Commons - ainsi que les territoires comprenant des TNE et des CMQ).

Les actions de CESI et LINEACT CESI portent sur :

- La coordination du WP1 : Développement ou amélioration de parcours pédagogiques hybrides et multimodaux individualisés,
- La R&D sur les Jumeaux Numériques des plateformes Industrie du futur et Fabrication additive métallique
- L'intégration des JNs dans nos formations,
- L'analyse de l'impact des dispositifs sur l'apprentissage et l'insertion professionnelle future,
- La participation à la preuve de concept et aux expérimentations sur les campus virtuels.



**JENII**  
JUMEAUX D'ENSEIGNEMENT  
NUMÉRIQUES IMMERSIFS  
ET INTERACTIFS

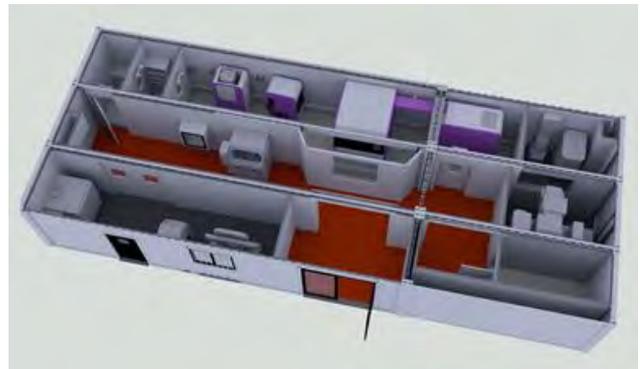


Figure 16 : Projet JENII – Plateformes CESI

### 3.2 Pédagogie de l'Alternance

L'alternance représente un enjeu de taille pour l'ensemble des branches professionnelles, il est encore plus important pour celle de la métallurgie. Confrontée à de nombreuses mutations technologiques, socio-économiques, écologiques, etc. et une transition vers les industries 5.0 pour lesquelles les formations en alternance présentent de nombreux atouts en termes d'employabilité, de flexisécurité, de « formation à la main » et d'ajustements des politiques d'emploi-formation, la branche Métallurgie souhaite formaliser sa vision de l'enseignement technique et professionnel et la diffuser au travers d'un **guide pratique de la pédagogie de l'alternance**, un « **guide de référence** », dont la vocation sera de contribuer à diffuser, au sein de la branche, les principes directeurs des formations par alternance et des pratiques repérées comme particulièrement efficaces en matière d'inclusion et d'apprentissage.



Apprendre le métier (S.Sadous, CFA, Lyon 2022)



Faire et apprendre ensemble

Le projet Pédagogie de l'alternance est commandité par l'observatoire des compétences de la métallurgie et financé par l'OPCO2i. La finalité de ce projet est de produire un guide de la pédagogie de l'alternance adressable à un ensemble d'acteurs : apprenants, formateurs, centre de formation, organisations professionnelles, institutionnelles, etc., issus ou non de la branche Métallurgie et renseigné à partir des résultats d'un certain nombre d'enquêtes concourantes dont la visée est de :

- **Définir ce qu'est l'alternance du point de vue pédagogique** : ses formes pédagogiques et ses principes directeurs,
- **Identifier la culture pédagogique de l'alternance de la branche et son positionnement** en étudiant des pratiques d'alternance propres à la branche et leur instrumentation (régulation et pilotage des formations),
- **Repérer des pratiques pédagogiques d'alternance** spécifiques et/ou innovantes,

- **Identifier des critères d'efficacité des pédagogies de l'alternance** du point de vue des différents acteurs de la Branche,
- **Comparer des politiques et des pratiques pédagogiques** d'alternance en dehors de la Branche.

Différentes enquêtes contribuent à atteindre ces objectifs :

- Une enquête qualitative auprès de 103 acteurs de la formation par alternance de la branche (formateurs, responsables pédagogiques, organisations patronales, syndicales, maîtres d'apprentissage, tuteurs) et 46 alternants,
- Une enquête quantitative auprès de 1724 alternants (du CAP aux écoles d'ingénieurs) issus ou de CFA et centres de formation relevant de la métallurgie,
- Une enquête documentaire à visée scientifique : état de l'art de la recherche, interview de 15 chercheurs experts des questions de compétences, benchmark des pratiques d'alternance dans 3 pays voisins (Finlande, Suisse, Royaume Uni),
- Une enquête comparative par entretiens auprès de différents CFA et centres de formation ne relevant pas de la Métallurgie (CESI, ENISE, CENTRALE, Universités, Educagri, MFR, etc.).

Les actions de LINEACT CESI portent sur l'ensemble de ces enquêtes, leur production et diffusion, le traitement des résultats et la production du guide.



## 4 Moyens Matériels

Les projets sont appuyés par trois plateformes de recherche et de transfert **Usine du futur** et **Bâtiment du futur**, ces plateformes servant également d'adossement recherche à la pédagogie.

Une première plateforme remarquable de recherche et de transfert **Usine du Futur** est structurée en deux grands ensembles : l'un est dédié aux activités de recherche nécessaires à l'accompagnement de projets industriels de R&D sur les thématiques de la performance industrielle ; l'autre rassemble les activités de transfert vers les entreprises et notamment les PME, afin de les accompagner dans leurs projets à court terme d'innovation et d'optimisation de la performance industrielle. Le domaine de l'Industrie du Futur est traité essentiellement au niveau de l'usine.

Une deuxième plateforme remarquable de recherche et de transfert **Bâtiment du Futur** se trouve dans les murs du campus de Nanterre ; elle accueille des locaux modulaires pour les expérimentations, séances de créativité, travaux pratiques et travaux de recherche et d'innovation. Cette plateforme se veut le démonstrateur des activités Recherche et Innovation de CESI dans le domaine de la Ville du futur, essentiellement au niveau du bâtiment.

Une troisième plateforme, située également à Nanterre, se présente sous la forme d'une Unité Industrielle Autonome dédiée à la fabrication additive (FA) métallique (FAM), pour la suite nommée UAFAM. La construction du démonstrateur a démarré en décembre 2018, pour une mise en fonction complète en juin 2019. Ce démonstrateur prend place au sein du domaine **Industrie du Futur** et complète les équipements du Lab'CESI de CESI Nanterre (machines numériques et Impression 3D en FDM de polymères, composites et métaux).

Enfin, dans le cadre du projet DEFI&Co, le développement des plateformes Micro Learning Factories (MLFs) a été initié en juin 2021.

L'ensemble de ces plateformes est utilisé par les deux équipes de recherche et tous les enseignants-chercheurs des différents campus peuvent y accéder dans le cadre de leurs travaux.

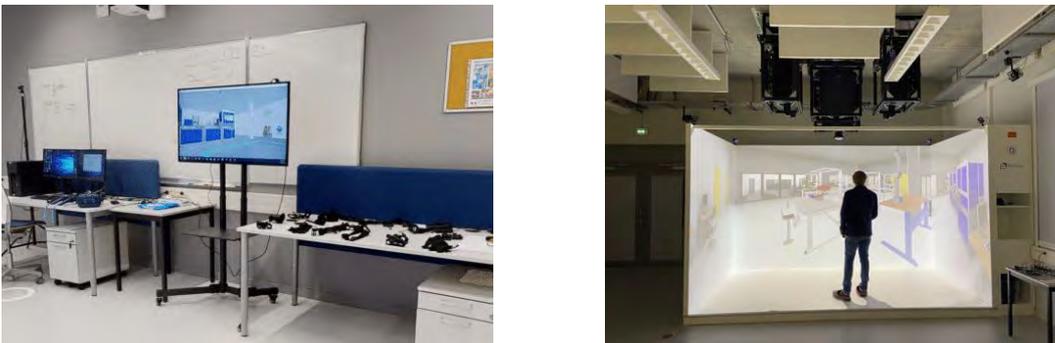
#### 4.1 Plateforme Usine du Futur (site de Rouen)

Le premier démonstrateur déployé sur le site de Rouen est constitué aujourd'hui :

- **D'un atelier flexible** constitué d'une chaîne de production automatisée didactique FESTO avec un robot mobile associé, de postes manuels, de postes cobots ainsi que d'une plateforme de robotique mobile autonome intégrant des robots MIR, d'un robot Robotnik, de bras manipulateurs type UR5, UR10, UR16e et ABB et complété par des équipements de RA.



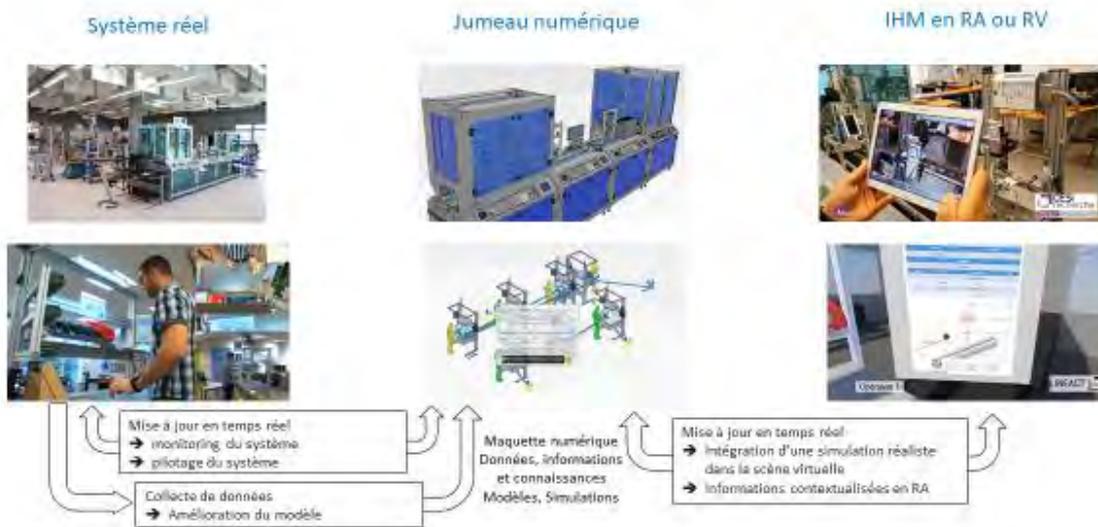
- **D'une salle de RV** accueillant un CAVE de la société Immersion, différents casques de RV et systèmes de captation



- **D'une plateforme de fabrication additive** accueillant une machine de fabrication additive 3D plastique HP et d'une machine de fabrication additive métallique Desktop Metal en technologie FDM.



- D'un jumeau numérique de l'atelier flexible.



4.2 Plateforme Bâtiment du futur (site de Nanterre)

**Bâtiment Intelligent** : Le bâtiment du futur est né d'une volonté commune entre CESI et les entreprises CISCO et Vinci Energies dans le cadre d'une chaire nommée « Industrie et services de demain ».

Inauguré en 2017, le bâtiment est innovant dans sa construction (formé par l'assemblage de 18 conteneurs maritimes) mais également dans les moyens technologiques impliqués :

- Un système de climatisation connecté,
- Un système d'éclairage reposant sur le réseau informatique, à la fois pour le pilotage mais également pour son alimentation en énergie,
- Un système de ventilation connecté,
- Un système de station météo connecté,
- 5 points d'accès Wi-Fi Cisco,
- 100 capteurs pour mesurer les variables environnementales du bâtiment (température, humidité, luminosité, occupation, énergie, contacts secs),
- Une infrastructure réseau Cisco (commutateurs L2/L3, contrôleur Wi-Fi),
- 20 machines virtuelles



Grâce à l'assemblage de cette structure et de ces technologies, le bâtiment peut ainsi piloter automatiquement la Gestion Thermique du Bâtiment mais aussi collecter les données pour un usage immédiat ou ultérieur. Il affiche une partie des données collectées aux visiteurs pour apporter une visibilité sur le travail de recherche engagé et servir plus généralement les utilisateurs en indiquant l'état de chaque salle (occupée ou pas), la température ou la consommation instantanée.

Le bâtiment, d'une superficie totale de 220 m<sup>2</sup>, dispose de 4 salles ouvertes aux visiteurs à usage pédagogique et un bureau. Les salles pédagogiques sont dotées de chaises pédagogiques, favorisant l'engagement et la collaboration des élèves. D'autres salles sont utilisées à des fins techniques, notamment un local technique électrique ainsi qu'une salle serveur.



Le bâtiment est utilisé activement dans les travaux de recherche de notre département, comme par exemple le jumeau numérique, les sujets liés au BIM ou encore des travaux de thèses, engagés sur le confort adaptatif ou la maintenance prédictive. De par son histoire et son activité, le bâtiment est ouvert aux collaborations académiques mais aussi industrielles.

### **Plateforme BIM (Building Information Modeling)**

Le secteur du BTP a connu une révolution grâce au BIM, entraînant au passage une importante redéfinition des métiers et des méthodes de travail. De nouveaux profils professionnels ont également fait leur apparition sur le marché de l'emploi : BIM manager, coordinateur, chef de projet ou encore chargé d'affaire BIM. Pour permettre à ses apprenants de s'adapter aux enjeux de demain et leur ouvrir de nouvelles perspectives de carrière, CESI École d'Ingénieurs a déployé le BIM dans toutes ses formations de la filière du BTP.

Durant leur cursus, les apprenants travaillent en mode projet. Cette méthode, adaptée à l'alternance, vise à impliquer davantage l'apprenant et à le rendre acteur de sa formation. Pour les besoins de cette formation, le campus de Nanterre s'est équipé d'une deuxième salle spécifiquement dédiée à la modélisation des données du bâtiment et à la collaboration des différents acteurs du projet. Situées dans le bâtiment historique du campus de Nanterre, les deux salles BIM accueillent 31 stations de travail équipées de logiciels de modélisation numérique, de coordination et de collaboration. La diversité des logiciels intégrés permet d'élargir le champ de compétences des futurs experts ainsi que leur positionnement à l'OPEN BIM. Ces installations permettent également d'initier des recherches dans ce domaine, en passe de se développer dans les années futures.



### 4.3 Plateforme Industrie du futur (site de Nanterre)

La **plateforme technique Fabrication Additive Métal** de Nanterre est constituée de:

- L'Unité Autonome de Fabrication Additive Métallique (UAFAM) qui intègre une machine industrielle de production de technologie fusion laser sur lit de poudre (L-PBF) dans une chaîne de valeur complète
- Une installation intégrant un moyen de production par dépôt de fil métallique (FDM-Métal).

L'UAFAM est un bâtiment constitué de 6 containers maritimes. Ce bâtiment a pour caractéristiques d'être autonome, modulaire et mobile.

Il regroupe tous les équipements permettant de produire des pièces métalliques, en étant centré sur la technologie de fabrication métallique de technologie L-PBF. Le bâtiment est divisé en différentes zones permettant de couvrir l'essentiel de la chaîne de valeur de production et en sécurité :

- Une zone de stockage permet d'isoler le stockage de matière première (la poudre) ainsi que les éléments contaminés sous scellés, afin de maîtriser le risque lié à l'entreposage de ces produits
- Une zone dédiée à l'installation de postes informatiques, pour être en mesure de réaliser la conception numérique des pièces
- Une zone dédiée à la production conçue pour gérer les risques liés à la manipulation de poudre de métal, tant sur les aspects ATEX que CMR. La zone accueille la machine de production, une FormUp 350 de marque AddUp, ainsi que les équipements permettant de réaliser le cycle de réutilisation de la poudre (tamiseur et aspirateur sous flux inerte). L'imprimante FormUp 350 permet de produire des pièces d'un volume allant jusqu'à 350mm x 350mm x 350mm à partir de poudre de matériaux métalliques tel que des aciers, aciers inoxydables, alliages de titane, alliages d'aluminium, Inconel etc...
- Une zone dédiée au parachèvement des pièces, étape nécessaire pour obtenir un produit fini. Cette zone regroupe une machine de nettoyage des pièces, un four de traitement thermique, une scie à ruban, un établi sous flux d'air - pour réaliser des opérations de parachèvements manuels en toute sécurité - et une cabine de sablage.
- Une zone technique dédiée à la gestion des fluides nécessaires aux équipements industriels : un compresseur d'air, une cuve de rétention des eaux contaminées, un échangeur thermique dédié à la FormUp 350 ainsi qu'une CTA qui permet le renouvellement d'air et la création d'une dépression dans la zone de production. A l'extérieur et accolée à zone, un espace dédié permet de connecter des bouteilles de gaz neutre au réseau du bâtiment. Début 2022 et suite à un projet initié en 2021, un générateur d'azote a été installé et connecté au réseau, permettant une production autonome et local du gaz neutre.

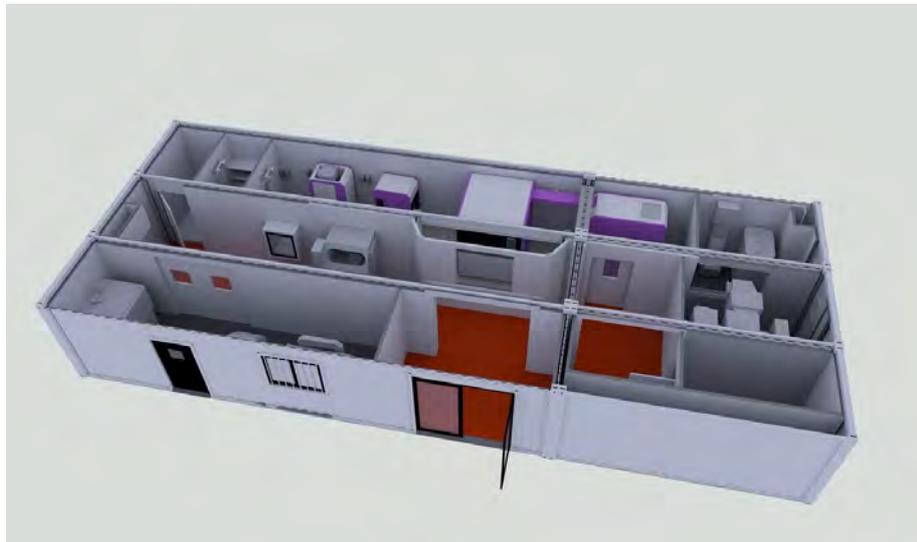
Les jonctions des containers qui composent le bâtiment sont toutes démontables. Cela permet au bâtiment d'être rapidement désassemblé, transporté par convoi standard puis réassemblé sur le site de production souhaité.

CESI Nanterre a déposé 2 brevets relatifs à la conception de ce bâtiment réalisé par les équipes du laboratoire, sur mesure et répondant à des problématiques jusqu'alors non traitées.

La deuxième installation intègre une technologie de fabrication additive dite FDM métal. Elle est composée d'un ensemble d'équipements de la marque Markforged. La machine de production type dépôt de fil est accompagnée des équipements nécessaires à la finalisation des pièces imprimées : un dégraisseur industriel et un four de traitement

thermique permettent l'opération de déliantage/frittage. La machine est complémentaire au L-PBF car elle permet de produire des pièces métalliques à coût inférieur et présente des contraintes d'intégrations moins lourdes. En effet, la matière première se présente sous forme de fils constitués d'une matrice polymère et de métal, qui ne représente pas de risques ATEX ou CMR. La qualité, la précision et le volume (environ 150mm x 150mm x 150mm) des pièces obtenues sont toutefois inférieurs au procédé L-PBF.

Les matériaux pouvant être mis en œuvre par la machine sont des alliages d'acier inoxydable, des alliages de cuivre et des alliages de nickel.



### Réalités virtuelles et augmentées

La plateforme immersive du campus de Nanterre ou Virtual Lab vient en appui aux équipes pédagogiques, aux équipes de recherche et aux entreprises partenaires dans l'exploration et la création de cas d'usage professionnels autour de l'industrie et du bâtiment du futur. Equipée de toute la chaîne de valeur de production de contenus immersifs elle œuvre pour la diffusion de cette brique de l'industrie 4.0.

Elle est composée d'un espace de conception équipée d'une vingtaine de postes de travail à performance graphique élevée mais aussi d'un vaste plateau libre équipé de capteurs de mouvement.

Y sont présentes différentes gammes de technologies de réalité virtuelle (Smartphones, casques Oculus, casques HTC Vive Pro, CAVE à une face), de réalité augmentée (Tablettes, système de projection et Hololens), de captation (Scanners 3D, caméras thermique) ou encore de conception 3D (moteurs 3D) pour répondre aux différents cahiers des charges.

En réalité virtuelle mais aussi en augmentée des dispositifs grand public, semi-professionnels et professionnels y sont présents aussi bien du côté hardware que software.

Au sein des cursus de CESI cette plateforme propose de former à la maintenance en réalité virtuelle, de collaborer autour d'objets 3D en immersif, d'optimiser l'agencement de chaînes de production ou encore de s'entraîner à mener des revues de chantier augmentée grâce au BIM.

Des passerelles avec les autres plateaux techniques du campus de Nanterre mais aussi de ceux d'Orléans ou de Rouen y sont édifiées (Fabrication additive, prototypage numérique, robotique ...).

Riche de plusieurs partenariats avec de jeunes entreprises innovantes françaises et de l'implication dans de nombreux projets collaboratifs académiques elle œuvre pour la consolidation de l'offre française et la compétitivité dans ces domaines.

#### 4.4 Micro Learning Factories

Dans le cadre du projet DEFI&Co, le développement des plateformes « Micro Learning Factories (MLFs) » a été initié en juin 2021. Outil de recherche et de formation, le principe d'une Micro Learning Factory 5.0 est de disposer à une échelle réduite d'un environnement représentatif d'un système de production manufacturier. Les MLFs permettront aux enseignants-chercheurs d'expérimenter des concepts avancés : système de production autonome, collaboratif, coopératif, décentralisé, etc. Dans le cadre des activités de formation, elles permettront aux apprenants CESI de découvrir et d'explorer les concepts de la gestion des systèmes de production et d'intégrer les technologies clés de l'INDUSTRIE 5.0 par l'expérimentation en jouant notamment des scénarios pédagogiques conçus spécifiquement. En cours de développement, les plateformes MLFs 5.0 seront déployées sur 6 campus CESI fin 2022.

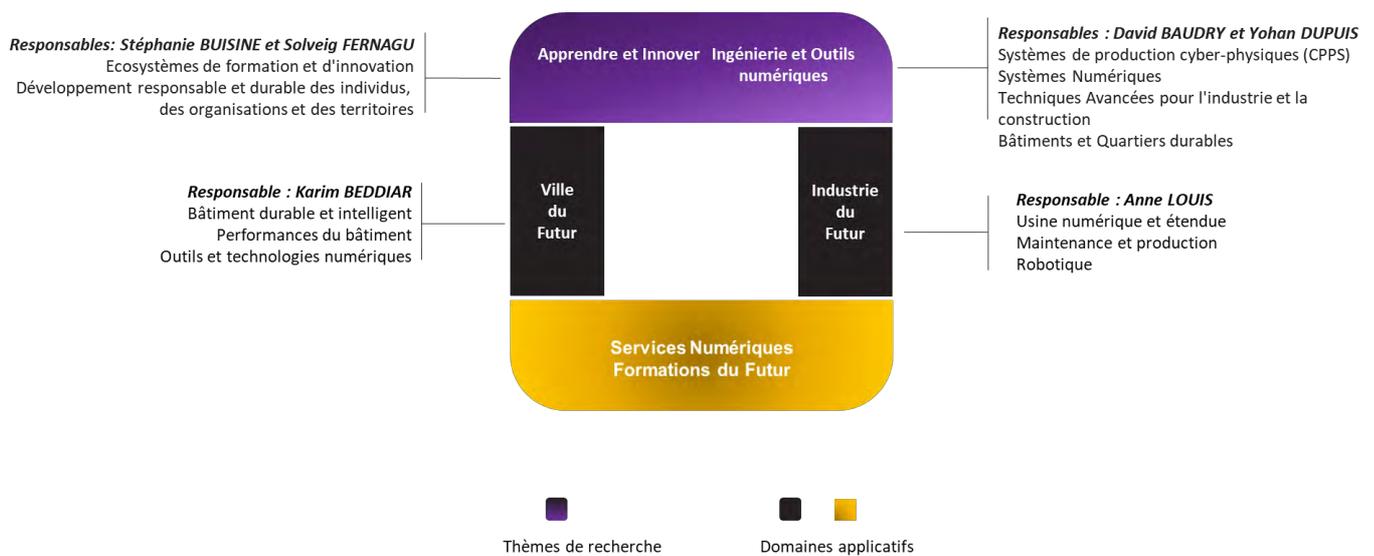


## 5 Perspectives

Les perspectives sont nombreuses et la croissance importante des effectifs d'enseignants-chercheurs, ainsi que leur montée en gamme avec les passages de HDR et l'évolution vers les fonctions de directeurs de recherche, sera notre meilleur moteur pour le développement du laboratoire. Cette croissance, nourrie par les besoins des formations CESI, permet également d'élargir les thèmes de recherche et leurs domaines applicatifs.

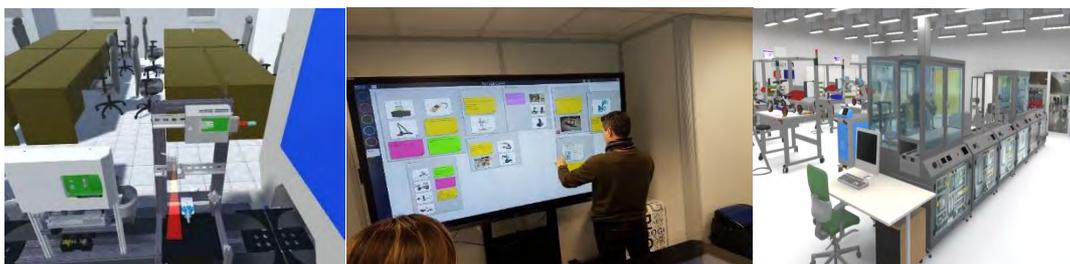
La restructuration des thèmes permettra une meilleure intégration des nouvelles déclinaisons des domaines applicatifs. La nouvelle organisation peut se schématiser comme suit au niveau du laboratoire:

## ORGANISATION DE LA RECHERCHE



Ce sera donc l'établissement d'un cercle vertueux, qui verra s'accroître l'évolution de la recherche à CESI de manière significative sur les points suivants:

- Les publications classées dans les bases de données reconnues, ce dernier point ayant été retenu comme un fondamental pour l'évaluation de la qualité de la recherche à CESI,
- Les recrutements de qualité, que ce soit pour les doctorants, les stagiaires ou les enseignants-chercheurs,
- La montée en compétences des chercheurs de LINEACT CESI,
- Le soutien aux formations de CESI,
- Les réponses aux appels à projets,
- La reconnaissance de notre écosystème national,
- Un cadre éthique commun de développement responsable et durable.



## 6 ANNEXE 1 : Publications

### Production scientifique au sein de LINEACT

Janvier 2021 à mars 2022

#### Articles dans des revues internationales ou nationales

1. Ilhem Slama, Oussma Ben-Ammar, Simon Thevenin, Alexandre Dolgui, Faouzi Masmoudi, "Stochastic program for disassembly lot-sizing under uncertain component refurbishing lead times", *European Journal of Operational Research*, 2022
2. Dominique Barth, Benjamin Cohen Boulakia, Wilfried Ehounou, "Distributed reinforcement learning for the management of a smart grid interconnecting independent prosumers", *Energies*, 2022
3. Antoine Caillot, Safa Ouerghi, Pascal Vasseur, Rémi Boutteau, Yohan Dupuis, "Survey on Cooperative Perception in an Automotive Context", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2022
4. Ana C. Passos, Marcio M. Arouche, Ricardo A. A. Aguiar, Hector R. M. Costa, Eduardo M. Sampaio, Silvio De Barros, "Experimental Analysis of Composite-to-geopolymer Bonded Structures Using Pull off Tests", *Materials Research*, 24, 2022
5. K. P. Arjun, Silvio De Barros, Sandip Budhe, "Theoretical determination of elastic and flexural modulus for inter-ply and intra-ply hybrid composite material", *Composite Structures*, 281, 2022
6. Samira Bourgeois-Bougrine, Nathalie Bonnardel, Jean-Marie Burkhardt, Branden Thornhill-Miller, Farzaneh Pahlavan, Stéphanie Buisine, Jérôme Guegan, Nicolas Pichot, "Immersive virtual environments' impact on individual and collective creativity: A review of recent research.", *European Psychologist*, 2022
7. Marina S. Azerêdo, Mario A. B. S. Nunes, Lucas R. F. Figueiredo, Juliano E. Oliveira, Gustavo D. Tonoli, Silvio De Barros, Eliton S. Medeiros, "Environmentally friendly adhesives derived from glycerol-based polymers", *JOURNAL OF ADHESION SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 36, 1, 98-108, 2022
8. Barbara Schiavi, Vincent Havard, Karim Beddiar, David Baudry, "BIM Data Flow Architecture with AR/VR Technologies: Associated Use Cases in Architecture, Engineering and Construction", *Automation in Construction*, 134, 2022
9. Ahmed Rida Sekkat, Yohan Dupuis, Paul Honeine, Pascal Vasseur, "A comparative study of semantic segmentation of omnidirectional images from a motorcycle perspective", *Scientific Reports*, 12, 2022
10. Bouziane Brik, Mourad Messaadia, M'hammed Sahnoun, Belgacem Bettayeb, Mohamed Amin Benatia, "Fog-supported Low Latency Monitoring of System Disruptions in Industry 4.0: A Federated Learning Approach", *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, 1-24, 2022
11. Yann Serreau, "Expérience et conduite d'entretiens d'accompagnement au sein d'une formation d'ingénieur par apprentissage", *L'Orientation Scolaire et Professionnelle*, 50, 1, 121-149, 2021
12. Jérôme Guegan, Stéphanie Buisine, Julien Nelson, Frédéric Vernier, "Gamification and social comparison processes in electronic brainstorming", *Journal of Gaming & Virtual Worlds*, 2021
13. Killian Richard, Jordan His, Vincent Havard, David Baudry, "INTERVALES: INTERActive Virtual and Augmented framework for industrial Environment and Scenarios", *Advanced Engineering Informatics*, 50, 2021
14. Marcio Moreira Arouche, Sofia Teixeira De Freitas, Silvio De Barros, "Evaluation of the strain-based partitioning method for mixed-mode I+II fracture of bi-material cracks", *THE JOURNAL OF ADHESION*, 2021
15. Samir Ouchani, "A security policy hardening framework for Socio-Cyber-Physical Systems", *Journal of Systems Architecture*, <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2021.102259>, 2021
16. Corentin Coupry, Sylvain Noblecourt, Paul Richard, David Baudry, David Bigaud, "BIM-Based Digital Twin and XR Devices to Improve Maintenance Procedures in Smart Buildings: A Literature Review", *Applied Sciences*, 11, 15, 6810, 2021
17. Walid Mouloud, Samir Ouchani, Hafida Bouarfa, "Towards a reliable smart city through formal verification and network analysis", *Computer Communications*, 2021
18. Samir Ouchani, Abdelhakim Baouya, Salim Chehid, Saddek Bensalem, Marius Bozga, "Generation and verification of learned stochastic automata using k -NN and statistical model checking", *Applied Intelligence*, 2021
19. Vincent Havard, David Baudry, Anne Louis, Xavier Savatier, "use case study comparing augmented reality (AR) and electronic document-based maintenance instructions considering tasks complexity and operator competency level", *Virtual Reality*, 2021

20. Wassila Abdellaoui, Mehdi Souier, M'hammed Sahnoun, Fouad Ben Abdelaziz, "Multi-period optimal schedule of a multi-product pipeline: A case study in Algeria", Computer and industrial Engineering, 2021
21. Samir Ouchani, "Reliability-driven Automotive Software Deployment based on a Parametrizable Probabilistic Model Checking", Expert Systems With Applications, 2021
22. Marcos Antonio Garcia, Joaquim Manoel Gonçalves, Kátia Cordeiro Mendonça, Nathan Mendes, Luciano Antônio Mendes, "Comparative analysis of hydraulic refrigeration and mechanical vapour compression water cooling technologies in designing a technical system for oysters conservation", Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 93, 1, 1-14, 2021
23. Maroua Sbiti, Karim Beddiar, Djaoued Beladjine, Romuald Perrault, Bélahcène Mazari, "Toward BIM and LPS data integration for Lean site project management: A State-of-the-Art review and recommendations", Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 11, 5, 196, 2021
24. Stéphanie Guibert, "La didactique professionnelle pour relier travail et formation", Education Permanente, 1, 226, 2021
25. Anis Allal, M'hammed Sahnoun, Reda Adjoudj, Sidi Mohamed Benslimane, Merouane Mazar, "Multi-agent based simulation-optimization of maintenance routing in offshore wind farms", Computer and industrial Engineering, 157, 1-13, 2021
26. Armand Lang, Frédéric Segonds, Camille Jean, Claude Gazo, Jérôme Guegan, Stéphanie Buisine, Fabrice Mantelet, "Augmented design with additive manufacturing. methodology: Tangible object-based method to enhance creativity in design for additive manufacturing", 3D Printing and Additive Manufacturing, 2021
27. Marcio M. Arouche, Sofia Teixeira De Freitas, Silvio De Barros, "On the influence of glass fiber mat on the mixed-mode fracture of composite-to-metal bonded joints", Composite Structures, 256, 2021
28. Andréa Boisadan, Stéphanie Buisine, Philippe Moreau, "Towards the Design of a Quick and Universal Questionnaire to Assess the Intuitiveness of Products", Theoretical Issues in Ergonomics Science, 2021
29. Chinmayi Kanthila, Abhinandana Boodi, Karim Beddiar, Yassine Amirat, Mohamed Benbouzid, "Building Occupancy Behavior and Prediction Methods: A Critical Review and Challenging Locks", IEEE Access, 9, 79353-79372, 2021
30. Andréa Boisadan, Stéphanie Buisine, Philippe Moreau, "Towards the Design of a Quick and Universal Questionnaire to Assess the Intuitiveness of Products", Theoretical Issues in ergonomics Science, 2021
31. Solveig Fernagu, "tout problème de compétence ne relève pas d'un problème de formation", Portail de la fonction publique, 2021
32. FERNAGU, S., MOHIB, N., (coord. Et dir.)(2021), « Question(s) de transformation en éducation et en formation des adultes », Revue Transformation n°22

#### Brevet

1. F. Segonds, C. Jean, F. Mantelet, C. Gazo, J. Guegan, N. Kaufmann, E. Conil, S. Buisine, "Outil de conception de produits en fabrication additive et procédé associé", FR2103664, 2021

#### Communications avec actes dans un congrès international

1. I. Slama, O. Ben-Ammar, S. Thevenin, A. Dolgui, "Une approche basée sur l'agrégation des scénarios pour résoudre un problème de planification de désassemblage sous incertitude des délais de remise à neuf", ROADEF 2022, Lyon, France, 2022
2. I. Slama, B. Bettayeb, O. Ben-Ammar, A. Dolgui, I. Slama, "Un problème de planification de désassemblage sous incertitude de rendement", ROADEF 2022, LYON, France, 2022
3. M.S. Akremi, R. Slama, H. Tabia, "SPD Siamese Neural Network for skeleton-based hand gesture recognition", VISAPP 2022, En ligne, En ligne, 2022
4. M. Dallel, V. Havard, Y. Dupuis, D. Baudry, "A Sliding Window Based Approach With Majority Voting for Online Human Action Recognition using Spatial Temporal Graph Convolutional Neural Networks", ICMLT, Rome, Italie, 2022
5. A. Assila, A. Dhouib, Z. Monla, M. Zghal, "Integration of Augmented, Virtual and Mixed Reality with Building Information Modeling: A Systematic Review", HCI INTERNATIONAL, Virtual, Virtual, 2022
6. B. Schiavi, V. Havard, K. Beddiar, D. Baudry, "VR simulation of operating procedure in construction based on BIM and safety ontology: a proof of concept", EuroXR 2021, Milan (en ligne), Italie, 2021
7. K. Zaimen, "Coverage Maximization in WSN Deployment Using Particle Swarm Optimization with Voronoi Diagram", MEDI, Tallinn, Estonia, 2021

8. E. Pillon, A. Louis, "Behaviors among SMEs in terms of open innovation practices and actors involved", WOIC 2021, Eindhoven, Hollande, 2021
9. S. Junaid, H. Kovacs, D.A. Martin, Y. Serreau, "What is the role of ethics in accreditation guidelines for engineering programmes in Europe?", SEFI 49th, Berlin, Germany, 2021
10. P. Hemono, A. Nait Chabane, M. Sahnoun, "Multi-Objective Optimization of Active Human-Robot Collaboration: Case Study of the Aircraft Industry", MOPGP, ROUEN, France, 2021
11. I. Ihsane, A. Nait Chabane, "Multi-Objective Optimization for Electrical Demand Forecasting", MOPGP, Rouen, France, 2021
12. N. Yalaoui, I. Ferhat, F. Maliki, M. Sou, M. Sahnoun, "Analysis and optimization of the pharmaceutical distribution chain of NIGAPHARM company:A case study in Algeria", ORSSA, Hartbeespoort, Afrique du sud, 2021
13. S. Ouchani, "A Low-Cost Authentication Protocol Using Arbiter-PUF", MEDI, Online, Live, 2021
14. B. Schiavi, V. Havard, K. Beddiar, D. Baudry, "Semi-automatic generation of virtual reality procedural scenarios for operation in construction based on 4d building information models", CONVR 2021, Middlesbrough (Online), Royaume-Uni, 2021
15. C. Kanthila, A. Boodi, K. Beddiar, Y. Amirat, M. Benbouzid, "Markov Chain-based Algorithms for Building Occupancy Modeling: A Review", IEEE SPIES, Shanghai, China, 2021
16. A. Nait Chabane, M. Sahnoun, B. Bettayeb, "Forecasting KPIs of Production Systems Using LSTM Networks", CyMaEn'21, Hammamet, Tunisia, 2021
17. S. Ouchani, "Guaranteeing Information Integrity through Blockchains for Smart Cities", MEDI, Aix en provence, SE, 2021
18. M.B. Lopes, V.C. Mariani, K. Cordeiro Mendonça, C. Béghein, J.H. Kleinübing Larcher, "Evaluating turbulence models to predict the particle deposition in curved ducts", HEFAT 2021, Virtual conference, Virtual conference, 2021
19. K. Richard, V. Havard, D. Baudry, "Authoring-by-doing: an event-based interaction module for virtual reality scenario authoring framework", SALENTO AVR 2021, Salento, Italy, 2021
20. F.S. Bezzaoucha, M. Sahnoun, S.M. Benslimane, "Multi-agent modeling and simulation of wind turbine behavior with failure propagation consideration", IHSH, Boumerdes, Algérie, 2021
21. B. Blandin, B. Blandin, "Une double ontologie pour un méta-cadre théorique", NEO-SAI 2020, En ligne, France, 2021
22. S. Ouchani, "An IoT-based Framework for an Optimal Monitoring and Control of Cyber-Physical Systems: Application on Biogas Production System", IoT, St.Gallen, Swiss, 2021
23. G. Morin Duponchelle, A. Nait Chabane, B. Zerr, P. Schoeseters, "Visual and Chemical Servoing of a Hexapod Robot in a Confined Environment using Jacobian Estimator", ICRA 2021, Paris, France, 2021
24. B.. Bettayeb, O. Ben-Ammar, A. Dolgui, "Multi-period Multi-sourcing Supply Planning with Stochastic Lead-times, Quantity-dependent Pricing, and Delivery Flexibility Costs", APMS 2021, Nantes, France, 2021
25. S. Ouchani, "A Review on Cyber-Physical Systems: Models and Architectures", WETICE, Bayonne, France, 2021
26. A. Badets, B. Blandin, V. Havard, D. Baudry, "Conception de situations instrumentées : étude de cas d'une situation d'apprentissage des concepts du Lean Manufacturing", NEO-SAI 2020, En ligne, France, 2021
27. S. Buisine, A. Taton, A. Boisadan, "Need-seeking: Creating, discovering or recovering needs?", IEA, Vancouver, Canada, 2021
28. S. Ouchani, "COVID-DETECT: A Deep Learning Based Approach to Accelerate COVID-19 Detection", SIAS, Tullin, Estonia, 2021
29. A.. Syarif, A. Brahmia, J.F. Dollinger, A. Abouaissa, L. Idoumghar, "RPL-OC: Extension of RPL Protocol for LLN Networks based on the Operator Calculus approach", ICICT 2021, London, United Kingdom, 2021
30. S. Ouchani, "A Generation and Recovery Framework for Silicon PUFs based Cryptographic Key", SIAS, Tellin, Estoia, 2021
31. S. Noblecourt, G. Bourgoin, V. Havard, D. Baudry, "Evaluating the influence of interaction technology on procedural learning using Virtual Reality", VRST21, Osaka, Japon, 2021

### Chapitres d'Ouvrage Scientifique

1. S. Fernagu, "Pour une pédagogie des conditions de l'apprentissage en milieu organisationnel", Chapitre, O. Collard Bovy, A. Jézégou, Presses universitaires de Louvain, 2022

2. S. Fernagu , (2021), « Entrée en formation et capacités : le cas d'une formation pour adultes en situation d'illettrisme et d'alphabétisation », in Bourgeois, E.(Dir), *Se former, se transformer en Alpha : dynamique d'engagement, effets de formation, freins et ressources*, Paris : L'Harmattan, 2021
3. S. Buisine, J. Guegan, "Avatars", A, V. Glaveanu, The Palgrave Encyclopedia of the Possible, 2021
4. E. Pillon, "Rapport de la 1re Tournée de l'innovation dans les territoires d'industrie : Vision d'expert", Vision d'experts, A. Storck, S. Petit, Y. Serreau, InnovENT-E, 2021
5. A. Boisadan, S. Buisine, "Design de service", pp, E. Brangier, G. Valléry, Dunod, 2021
6. S. Buisine, "Usages futurs et innovation", pp, E. Brangier, G. Valléry, Dunod, 2021

#### Conférence invitée

1. S. Ouchani, "Towards a Foundation of a Mutual Authentication Protocol for a Robust and Resilient PUF-Based Communication Network", The 18th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing, Leuven, Belgique, 2021

#### Acte de colloque / workshop

1. S. Ouchani, "MEDI Workshops", Springer, 2021
2. B. Blandin, "Actes du colloque NEO-SAI 2020 Comprendre et construire les nouvelles situations d'apprentissage instrumentées", CESI, 2021

#### Thèses soutenues

1. F.S. Bezzaoucha, "Modélisation de la propagation de pannes à base d'architecture distribuée pour l'implémentation de la maintenance proactive dans des systèmes de Production énergétique", École Supérieure en Informatique 08 Mai 1945, École Supérieure en Informatique 08 Mai 1945, 44384, S.M. Benslimane, M. Sahnoun
2. E. Rottemberg, "Pratiques managériales et engagement des salariés : Une évolution qui passe par le sens.", Université de Paris, ED 261 3CH, 44536, S. Buisine
3. I. Bouzarkouna, "Implémentation industrielle du "Fog Manufacturing" : défis et applications à la logistique interne dans le contexte de l'Industrie du futur.", INSA Rouen Normandie, ED 590 MIIS, 44379, C. Gout, D. Baudry, M. Sahnoun
4. E. Pillon, "Expliquer l'adoption des pratiques d'innovation ouverte des PME par les caractéristiques stratégiques, organisationnelles et environnementales", Université de caen Normandie, École doctorale économie-gestion Normandie, 44211, A. Louis, T. Loilier

## 7 ANNEXE 2 : PROJETS AU SEIN DE LINEACT

**En cours 2021 - 2022**

## 7.1 Récapitulatif des projets en cours

projet	financier	Programme/AAP	notification lancement	durée (mois)	impacts - Objectifs	thème LINEACT	partenaires (en gras le chef de file)	budget global	budget CESI	région porteuse CESI
<b>DEFI&amp;Co</b>	Banque des Territoires	PIA - Partenariats pour la formation professionnelle et l'emploi	Juil-16	60	Développement de formations innovantes et qualifiantes de niveaux 3 à 1 dans le but de qualifier plus de 10 000 étudiants, apprentis ou stagiaires de la formation continue, avec une attention toute particulière à l'intégration des femmes aux emplois de demain. Ces formations concernent l'Industrie du futur (gestion du cycle de vie de produits ou PLM, production et maintenance), le Bâtiment du futur (maquette numérique pour le bâtiment ou BIM, performance énergétique), les métiers de l'analyse de données liés à ces deux axes (« Data Scientists »).	<b>Transverse</b>	<b>CESI</b> , APEC, AIRBUS, CISCO, COLAS, La Poste, Union Sociale pour l'Habitat, AFPOLS, CESFA BTP, CEFIPA Institut de la Réindustrialisation, Dassault Systèmes, EDF, ENGIE, FIVES, OGER International, Continental, Normandie AeroEspace, Energie Haute-Normandie, Fédération française du Bâtiment Languedoc-Roussillon, Cap Digital, MOVEO, Pôle TES, Rectorat de Rouen, Région Normandie, Région Aquitaine Limousin Poitou-Charentes, Communauté urbaine d'Arras, Bordeaux Métropole, Métropole Rouen Normandie, CESFA AGEFA – PME Pays de la Loire, CESFAHN, CESFA Lorraine, IRFEDD, CMQ Eco-construction et efficacité énergétique Alsace, Luxemburg Institute for Science and Technology, Université Régionale des métiers et de l'artisanat Nord-Pas de Calais, BTP- CFA Ile de France.	17,8 M€	12,2 M€	DG
<b>COROT</b>	Europe - FEDER	Interreg V France Manche Angleterre	Dec- 2016	42	Dans le cadre de l'Usine du Futur (Stratégie de Spécialisation Intelligente fabrication), ce projet vise à améliorer la compétitivité des entreprises manufacturières, notamment les PME, en leur fournissant des solutions technologiques innovantes (robots de service) et des outils numériques pour un système de production flexible, ainsi que les savoirs associés.	<b>Ingénierie et Outils Numériques</b>	<b>CESI</b> , BA Systèmes, CERI, Autofina, ESIGELEC (IRSEEM), Université du Havre (GREAH), University of Greenwich (CIPDM), University of Exeter (XMEC)	3,9 M€	740 k€	NO (porteur) et SO
<b>VISTA-AR</b>	Europe - FEDER	Interreg V France Manche Angleterre	Mars-17	42	Permettre aux acteurs du patrimoine culturel d'attirer plus de visiteurs en établissant d'une part des modèles économiques innovants et d'autre part des solutions de réalité augmentée (RA) pour améliorer l'expérience de ces mêmes visiteurs.	<b>Ingénierie et Outils Numériques</b>	<b>Université d'Exeter</b> , Région Bretagne, EESAB, NEOMA BS, CESI, Commune de Fougère, Cathédrale d'Exeter, Université de Bournemouth	7,9 M€	620 k€	NO

<b>UV Robot</b>	Europe - FEDER	Interreg V Nord Ouest Europe	Sept-17	48	Problématiques associées à la robotisation du traitement par UV-C (UV de type C) dans l'horticulture: Développement de robots pour le traitement autonome du mildiou, Intégration du traitement UV-C dans les stratégies de protection intégrées IPM actuelles, Mise en œuvre de l'innovation par les producteurs.	<b>Ingénierie et Outils Numériques</b>	<b>Proefcentrum Hoogstraten</b> , CESI, Octinion, STC research foundation, Roboscientific Limited, Comité d'Action Technique et Economique, Comité Départemental de Développement Maraîche, NIAB EMR	2,26 M€	320 k€	NO
<b>GPS</b>	Europe - FEDER Région Ile-de France	FEDER IdF	Mai-18	30	Mettre en œuvre des démonstrateurs in situ relatifs au pilotage de la performance énergétique de bâtiments et d'usages de la mobilité électrique organisés sous forme de microgrid, ie d'un réseau électrique intelligent à l'échelle de l'éco-quartier	Ingénierie et Outils Numériques	<b>CESI</b> , Evolution Energie, Luceor, Clem', Dot Vision, Elum, Ecole Polytechnique	2 M€	145 k€	IdF
<b>ANR CREAM</b>	ANR	ANR Appel à projets générique 2018	Nov-18	36	Suite d'outils et de méthodes pour stimuler la créativité des concepteurs en s'appuyant sur le potentiel inspirationnel des procédés de fabrication additive. Les méthodes conçues reposeront notamment sur des objets intermédiaires démontrant les capacités de ces procédés, afin de favoriser la sensibilisation, la créativité et l'intégration organisationnelle de la fabrication additive auprès des équipes de conception.	Apprendre et Innover	<b>ENSAM</b> , CESI, Université Paris Descartes	904 k€	328 k€	IdF
<b>COOP</b>	Région Nouvelle Aquitaine	Fond Régional pour l'Innovation dans les Formations (Région Nouvelle Aquitaine)	Janv-19	18	Créer une plateforme technique et pédagogique pour le prototypage rapide afin d'une part de former les apprenants à la culture d'innovation et l'entrepreneuriat et d'autre part d'accompagner les entreprises dans leurs projets.	Transverse	<b>CESI</b>	178 k€	178 k€	SO
<b>NUMERILAB</b>	Région Normandie-Europe FEDER Normandie	FEDER Normandie	Juil-19	36	Environnements Numériques Instrumentés pour les Apprentissages Humains	Transverse	<b>CESI</b>	520 k€	520 k€	NO

<b>Rouen Mobilités</b>	Banque des Territoires	Territoire d'Innovation Grande Ambition (TIGA)	Sept-19	120	Rouen Mobilités Intelligentes pour tous	Transverse	<b>Métropole de Rouen Normandie, CESI</b>		443 k€	NO
<b>PLFADDT</b>	Région Normandie	CPIER Transition écologique et valorisation économique	Sept-19	24	Le Parc Logistique du Futur Acteur d'un Développement Durable des Territoires	Ingénierie et Outils Numériques	<b>CEREMA, CESI, LSN, NOVALOG, Neoma business school, ENSA</b>		48 k€	NO
<b>Label d'excellence Campus des Métiers et des Qualification Aéronautique et Spatial Occitanie</b>	Banque des Territoires	PIA label d'excellence des Campus des Métiers et des Qualifications	Mars-20	120	Comment les facteurs favorisant la persistance dans les situations d'apprentissage instrumentées jouent dans le processus Capabilité	Apprendre et Innover	CMQ aéronautique et Spatial Occitanie, <b>Lycée Saint Exupéry</b> , UIMM Occitanie, Université Fédérale de Toulouse	4 M€	223 k€	SO
<b>EVAL-ACP</b>	Région Occitanie	Volet "Expérimentations" du programme Innov-Emploi	Jan-21	18	Développer et valider une échelle des aptitudes et comportements professionnels facilitant l'employabilité des apprenants	Apprendre et Innover	<b>CESI, CNAM Montpellier, ICAM Toulouse, 3IL Rodez</b>	51 k€	39 k€	SO
<b>C-CARE</b>	Europe - FEDER	Interreg V France Manche Angleterre	Aout 20	30	Covid Channel Area Response Effort	Transverse	<b>Kent County Council, New Anglia Local Enterprise Partnership, Norfolk County Council, Plymouth City Council, Conseil Départemental du Finistère, Pas-de-Calais Tourisme, CESI</b>	6,7 M€	440 k€	NO
<b>RIN 2021 - ANTIHPERT</b>	Région Normandie	Région Normandie	Oct-21	42	Opérateur 4.0 et anticipation dynamique de ses perturbations dans les ateliers de production	Ingénierie et Outils Numériques	<b>CESI, ESIGELEC, Université du Havre</b>	385 k€	155 k€	NO
<b>RIN action sup 2021</b>	Région Normandie	Région Normandie	Oct-21	12	Développement d'environnements immersifs numériques et robotiques pour la diffusion de la culture scientifique, technique et industrielle	Transverse	<b>CESI</b>	284 k€	284 k€	NO
<b>Pédagogie de l'Alternance</b>	OPCO2i	OPCO2i	Janv-22	3	Guide de référence sur les pédagogies de l'alternance	Apprendre et Innover	<b>CESI</b>		39,8 k€	DG

<b>SCOPES</b>	ANR	ASTRID	janv-22	30	Problématique d'intégration d'informations visuelles collectées depuis une flotte de véhicules autonomes intelligents (AIV)	Ingénierie et Outils Numériques	<b>CESI, LITIS, ESIGELEC</b>	412 k€	131 k€	DG
<b>COLIBRY</b>	Métropole Rouen Normandie	AAP ESR Métropole	févr-22	24	Problématiques de collaboration de robots hétérogènes et apport de l'IA via l'extraction des informations sémantiques des objets pour la mise à jour du jumeau numérique	Ingénierie et Outils Numériques	<b>ESIGELEC, CESI, Univ Rouen</b>	142 k€	70 k€	NO
<b>JENII</b>	ANR	PIA 4 Démonstrateurs Numériques dans l'Enseignement Supérieur - « DemoES »	Nov-21	36	Proposer une offre de formation spécifique pour l'industrie du futur fondée sur la technologie des jumeaux numériques immersifs et collaboratifs de systèmes industriels réels	Transverse	<b>ENSAM, CNAM, CESI, CEA Tech</b>		1,99 M€	DG

## 7.2 DEFI&Co - Développer l'expertise future pour l'industrie et la construction

**Partenaires :** CESI, APEC, AIRBUS, CISCO, COLAS, La Poste, Union Sociale pour l'Habitat, AFOLS, CESFA BTP, CEFIPA Institut de la Réindustrialisation, Dassault Systèmes, EDF, ENGIE, FIVES, OGER International, Continental, Normandie AeroEspace, Energie Haute-Normandie, Fédération française du Bâtiment Languedoc-Roussillon, Cap Digital, MOVEO, Pôle TES, Rectorat de Rouen, Région Normandie, Région Aquitaine Limousin Poitou-Charentes, Communauté urbaine d'Arras, Bordeaux Métropole, Métropole Rouen Normandie, CESFA AGEFA – PME Pays de la Loire, CESFAHN, CESFA Lorraine, IRFEDD, CMQ Eco-construction et efficacité énergétique Alsace, Luxemburg Institute for Science and Technology, Université Régionale des métiers et de l'artisanat Nord-Pas de Calais, BTP- CFA Ile de France.

**Appel à projet :** PIA – Partenariats pour la formation professionnelle et l'emploi

**Budget global du projet :** 17,8 M€

**Budget CESI du projet :** 12,2 M€

**Financement global :** 7,8 M€

**Lancement du projet :** 6 juillet 2016

**Durée du projet :** 67 mois

### Résumé du projet :

Le projet DEFI&Co ambitionne de développer pendant cinq années, à partir de travaux de recherche, des formations innovantes et qualifiantes de niveaux 3 à 1 dans le but de qualifier plus de 15 000 étudiants, apprentis ou stagiaires de la formation continue, avec une attention toute particulière pour l'intégration des femmes aux emplois de demain. Ces formations concernent :

- L'Industrie du futur (gestion du cycle de vie de produits ou PLM, production et maintenance),
- Le Bâtiment du futur (maquette numérique pour le bâtiment ou BIM, performance énergétique),
- Les métiers de l'analyse de données liés à ces deux axes (« Data Scientists »).

Il développera deux plateformes technologiques pour la recherche et pour la formation, l'une à Rouen, l'autre à Nanterre, ouvertes aux territoires. Une troisième plateforme logicielle de support aux formations, appuyée sur un cloud privé sera mise en place au niveau national, ainsi que, dans chaque région participant au projet, des salles de formation équipées pour les pédagogies par projets, la réalité virtuelle et la réalité augmentée.

En tant que projet de recherche, DEFI&Co comporte deux thèses, une liée à l'industrie du futur (*Analyse prédictive et Big Data pour l'industrie du futur*), l'autre au bâtiment du futur (*Modèle de pilotage énergétique d'un bâtiment «Smart Ready» par apprentissage intégrant l'utilisateur*), ainsi qu'un programme de recherche sur les situations d'apprentissage instrumentées. Les deux thèses contribuent au développement de modèles qui seront intégrés dans les travaux pratiques réalisés sur les équipements utilisés pour les formations ou sur leur jumeau numérique. Les travaux sur les situations d'apprentissage instrumentées sont destinés à mieux comprendre comment on apprend dans de telles situations, afin de concevoir une pédagogie adaptée.

En tant que projet d'évolution des formations, DEFI&Co finance la réingénierie des dispositifs diplômants de CESI, ce qui permet d'intégrer comme supports ou environnement d'apprentissage les équipements acquis au titre des investissements, et de concevoir des situations d'apprentissage permettant le développement des compétences attendues par les métiers du futur en intégrant des résultats des travaux de recherche, que ce soit ceux financés par le projet, ou par d'autres.

**Réalisations au 31 décembre 2021 :**

A ce stade, le projet Défi&Co a mobilisé 123 salariés CESI (+ 12 stagiaires), 37 salariés chez ses partenaires, pour un total de 8 455 jours.hommes. Il a permis de modifier 31 formations et de créer un mastère spécialisé rattachés aux domaines de l'industrie et du bâtiment du futur et encore du Big Data. Il a ainsi permis de former à ce jour 26 388 élèves, apprentis, alternants, stagiaires dont 14.752 en 2021.

En 2021, dans le cadre de l'évaluation des besoins en compétences générés par les métiers de l'industrie et du bâtiment du futur, l'APEC a publié un document final de ses études rassemblant une synthèse des compétences attendues, un zoom sur 10 tendances ou métiers en évolution ou émergence, l'identification de cinq grands enjeux pour les entreprises de ce secteur et un état des lieux du marché de l'emploi cadre pour ces mêmes secteurs.<https://corporate.apec.fr/home/nos-etudes/toutes-nos-etudes/industrie-et-batiment-du-futur-.html>

Sur le plan de la recherche, la situation sanitaire avait conduit à une étude "Continuité pédagogique et confinement", dans le cadre des situations d'apprentissage instrumentées. Cette étude porte sur les situations distancielles durant le premier confinement. Les résultats de l'analyse des entretiens menés auprès de 26 enseignants et 25 apprenants ont été présentés à la direction générale de CESI en janvier 2021.

LINEACT CESI a co-organisé avec le CIRNEF et le LITIS le colloque NEO-SAI 2020 reporté en 2021. Il a rassemblé à distance 73 inscrits, 5 ateliers et 16 contributions retenues.

Dans le domaine industriel, différents travaux ont été conduits dans le champ du développement d'applications de formation en 3D et réalité virtuelle dans un contexte industriel, de la maintenance prédictive, de l'apprentissage profond pour la détection d'actions humaines pour la collaboration humain-robot dans un contexte industriel, de la génération de données labélisées par simulation en réalité virtuelle et représentation anatomique pour la détection d'actions humaines.

Dans le domaine du bâtiment, le travail sur la thèse "Machine learning pour le pilotage énergétique intelligent de bâtiments" a donné lieu à la publication d'un article présentant les résultats et à la conception de nouveaux algorithmes.

4 publications scientifiques en lien avec Défi&Co ont paru en 2021. Des communications grand public ont été effectués lors de 6 Portes Ouvertes, de 2 Fêtes de la science, de 9 autres événements et de 10 conférences aux "Causeries de CESI" organisées par le centre de Nanterre.

Sur le plan des équipements, la plateforme Usine du Futur de Rouen a vu l'intégration de nouveaux modules et logiciels au sein du démonstrateur (robotiques / cobotiques, protocole de communication industrie 4.0 et IoT), l'arrivée d'un bras robot 6 axes ABB, de modules « Pick by light », « By pass » et « Robotino » en lien avec la chaîne d'assemblage FESTO et les postes manuels CESI, d'une imprimante 3D FDM métallique Studio avec module de déliantage et four de fusion.

L'investissement dans un Data Centre va permettre à tous les campus d'accéder aux ressources pédagogiques développées dans le cadre de DEFI&Co (maquettes numériques, modules en réalité virtuelle...) via des serveurs de virtualisation. Il servira aussi pour les futurs jumeaux numériques des plateformes techniques développées dans le cadre de DEFI&Co. Enfin des systèmes Polycom ont été achetés pour équiper au moins une salle par campus en visioconférence, afin d'assurer des cours ou des animations à distance dans de bonnes conditions.

L'année 2021 a vu se préparer un projet de micro learning factories visant à proposer aux apprenants des situations réelles de production sous la forme de micro chaînes de production.



### 7.3 CoRoT - Improving the design of flexible and responsive manufacturing systems involving autonomous and Collaborative Robots

**Partenaires :** chef de file CESI, partenaires : BA Systèmes CERI, Autofina, ESIGELEC (IRSEEM), Université du Havre (GREAH), University of Greenwich (CIPDM), University of Exeter (XMEC)

**Appel à projet :** INTERREG VA France Manche Angleterre

**Budget global du projet :** 3,9 M€

**Budget CESI du projet :** 739 k€

**Financement global :** 2,6 M€



**Lancement du projet :** 1<sup>er</sup> décembre 2016

**Durée du projet :** 42 mois

#### Résumé du projet :

Dans le cadre de l'Usine du Futur (Stratégie de Spécialisation Intelligente fabrication), ce projet vise à améliorer la compétitivité des entreprises manufacturières, notamment les PME, en leur fournissant des solutions technologiques innovantes (robots de service) et des outils numériques pour un système de production flexible, ainsi que les savoirs associés. CoRoT renforce également le transfert entre les universités et l'industrie dans la zone France-Manche-Angleterre (FMA). Pour atteindre ces objectifs, des instituts de recherche (LINEACT CESI, ESIGELEC, Université du Havre, Université d'Exeter, Université de Greenwich) innovent avec des PME fournisseurs de technologies (BA Systèmes, Autofina, ...) pour répondre aux besoins des utilisateurs finaux (FORD et ses fournisseurs - MJ Allen, Yeo Valley et les membres de cluster et filières industriels, ...).

Depuis 2008, la productivité moyenne des PME a baissé de 2 % en France et 12 % au Royaume-Uni, due notamment à la concurrence importante sur les coûts des économies émergentes. De récents rapports sur les tendances de la fabrication en Europe montrent que les outils numériques et les systèmes de fabrication flexibles impliquant des robots autonomes sont des technologies clés pour des usines reconfigurables et réactives et pour accroître la productivité (jusqu'à 30 % attendu). Pour les PME, en raison de la variabilité importante en volume, de petites séries et de délais réduits, le EU Business Innovation Observatory indique, comme solution innovante pour relever ce défi, l'automatisation et les plates-formes de robots mobiles connectées et collaboratives dans un système de fabrication flexible (FMS). Ces solutions représentent le cœur du projet CoRoT, à savoir ( ) :

- Développer des briques logicielles pour des bras robotisés et manipulateurs mobiles.
- Intégrer ces briques logicielles dans deux plateformes mobiles (plateforme industrielle et plateforme ouverte bas coût).
- Développer une plateforme logicielle de supervision et de simulation de système de production flexible avec ou sans robotisation.
- Tester et valider ces technologies à travers des cas d'usages industriels.

Une tâche importante de CoRoT est également la valorisation transfrontalière via des rencontres B2B et des ateliers de formation, ainsi que l'étude de nouvelles opportunités pour le marché des robots mobiles (inspection et surveillance, ...).

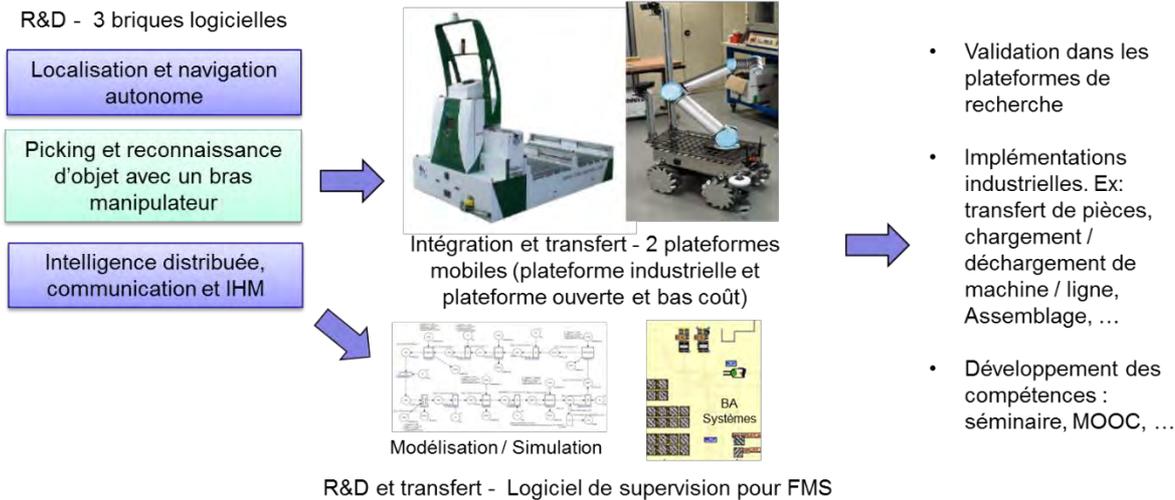


Figure 17 : Objectifs du projet COROT

### Réalisations au 31 mars 2022 :

Outre le rôle de chef de file du projet, les travaux de LINEACT CESI portent sur les problématiques d'allocation de ressources robotiques pour le transport et l'ordonnancement dans un contexte de collaborations multiples entre robots et machines de production dans des ateliers de production flexible intégrant plusieurs types de robots et manipulateurs mobiles, robot mobile uniquement, robot manipulateur et machines de production. Dans ce cadre, nous avons commencé à explorer les allocations dynamiques des tâches entre l'opérateur humain et le robot. Nous nous sommes intéressés aussi à l'exécution complète de la tâche de transport en impliquant un groupe de robots manipulateurs ou mobiles ainsi que des opérateurs humains. Nous avons travaillé donc sur la mise en place du système de supervision dans l'atelier de production en impliquant des enseignants chercheurs, une thèse, des stagiaires et une étroite collaboration avec les équipes des universités d'Exeter et de Greenwich. Ces efforts ont permis de développer un mécanisme de supervision distribuée basé sur un algorithme d'ordonnancement simultané de production et de transport.

En plus des stagiaires qui ont contribué aux travaux du projet CoRoT lors des années précédentes, nous avons recruté 2 stagiaires durant l'année 2021 pour travailler sur le développement de la gestion de flotte de robots mobiles (Abdessamad BENAÏSSA) et le développement de la simulation 3D de la solution CoRoT afin de tester le séquenceur (Vu-Hoi HUYNH). Nous avons travaillé sur le développement des idées de CoRoT pour introduire l'ordonnancement dynamique et la mise en place d'ordonnancement capable de prendre en compte la gestion des connaissances et la place de l'humain dans le système de production. Nous avons aussi pris en charge le développement de modèles de données et la mise en place du système de supervision et développé un cours en ligne sur la manipulation des robots. Dernièrement nous nous sommes impliqués dans le développement du contrôleur du robot pour l'exécution du cas d'usage industriel. Nous avons planifié l'évènement final qui a eu lieu le 26 avril 2022.

Les principales réalisations ont porté sur :

- La publication de plusieurs papiers scientifiques dans des conférences internationales (EDTM, IJPE workshop, CyMaEn, MIM) et un journal international (JoEM). D'autres travaux en collaboration avec les universités d'Exeter et Greenwich sont en cours,
- La participation au déploiement de la deuxième phase de l'enquête industrielle et au B2B meeting CoRoT organisé en collaboration avec EMC2 à Nantes,
- Le développement d'un séquenceur permettant la synchronisation des actions du bras manipulateur et un robot mobile,
- Le développement d'un algorithme de formation de coalition de robots dans un atelier de production flexible,
- La mise en place d'une base de données pour synchroniser, informer et mettre à jour les actions des différents organes de l'atelier de production,
- Le déploiement d'un mécanisme de supervision distribuée des ateliers de production flexibles et intelligents,
- L'amélioration du cas d'usage CESI en exécutant les tâches d'un manipulateur mobile,

- Le développement d'un simulateur de gestion de flotte de robots et de simulation 3D du use case CESI en utilisant une présentation des outils ROS tels que Gazebo,
- La participation à l'installation du robot CoRoT dans l'atelier de CERI et installation du PC de supervision,
- Le développement de MOOC.

## 7.4 VISTA – AR Innovation concernant l’expérience visiteur au moyen d’une analyse systématique de textes et de la réalité augmentée

**Partenaires :** Chef de file : Université d’Exeter –partenaires : Région Bretagne, EESAB, NEOMA BS, CESI, Commune de Fougère, Cathédrale d’Exeter, Université de Bournemouth

**Appel à projet :** INTERREG VA France Manche Angleterre

**Budget global du projet :** 7,9 M€

**Budget CESI du projet :** 620 k€

**Financement global :** 5,4M€



**Lancement du projet :** 1<sup>er</sup> janvier 2017

**Durée du projet :** 57 mois

### Résumé du projet :

Le projet VISTA-AR a pour ambition de permettre aux acteurs du patrimoine culturel d’attirer plus de visiteurs en établissant d’une part des modèles économiques innovants et d’autre part des solutions de réalité augmentée (RA) pour améliorer l’expérience de ces mêmes visiteurs. C’est pourquoi le projet rassemble des acteurs du tourisme (la commune de Fougères pour le château exceptionnel qui se trouve sur son territoire, et la cathédrale d’Exeter), des collectivités locales (la région Bretagne pour à la fois la gestion de son patrimoine et son investissement dans le numérique), une école d’art (École Européenne Supérieure d’Art de Bretagne – EESAB, contenu numérique et RA), des écoles de commerce (NEOMA Business School, pour son expertise en marketing et la Business School de l’université d’Exeter, modèles économiques) et des écoles d’Ingénieurs (CESI sur la réalité augmentée et l’analyse des données numériques des visiteurs et l’université de Bournemouth pour la gestion des contenus numériques). Le très riche patrimoine culturel des deux côtés de la Manche ainsi que les connaissances de tous les partenaires du monde du numérique permettent d’afficher une bonne cohérence. Un système cloud, accessible au public, hébergera les modèles de RA pour accéder à une technologie avancée en contenant les coûts.

La phase de développement se déroule sur 2 sites d’étude (Château de Fougères et Cathédrale Saint-Pierre d’Exeter), la phase de mise en œuvre se concentrera sur 4 sites supplémentaires qui utiliseront le cloud pour développer eux-mêmes leurs solutions. Les partenaires apporteront leur soutien à la conception, la mise en œuvre et l’évaluation pour augmenter le nombre de visiteurs de 20 %. L’impact potentiel du projet est important : 671 musées labellisés, 14 000 monuments, 23 sites protégés d’épaves, 5 sites du patrimoine mondial identifiés. Une fois le projet mené à son terme, le système cloud de RA sera géré par l’EESAB, avec le soutien du Conseil Régional de Bretagne.

### Réalizations au 31 décembre 2021 (projet terminé) :

Durant cette période, l’équipe CESI a continué son travail sur le DPT (serveur et application mobile). L’objectif était de faciliter la transmission des données collectées, ainsi que la fusion des différentes bases de données visiteurs. Des actions communes entre l’université d’Exeter, UNAI et CESI ont été menées, notamment le développement d’une API-Questionnaire pour le formatage et la transmission de données. Du côté de l’application mobile, nous avons rajouté les fonctionnalités suivantes : consultation de la base de données, extraction de toutes les données visiteurs (trajectoire, beacons et questionnaire) sous format CSV, transmission automatique des données du questionnaire, identification unique et commune des données visiteurs. Concernant l’extraction de données et leur transmission vers le cloud, les principales actions menées sont :

- Extraction de données : une nouvelle fonctionnalité a été rajoutée à l’application mobile qui permet de (1) consulter, (2) mettre à jour, et (3) extraire les données du questionnaire. La nouvelle interface a été pensée de manière à ce qu’elle soit facilement accessible par l’utilisateur (manager du site, opérateur, etc).
- Transmission de données : une interface mobile permettant la transmission de données vers un serveur distant a été développée. En cours de test et de validation, cette interface permet de transmettre d’une manière automatique les données du questionnaire dès qu’un nouveau visiteur est détecté.

- Beacons : afin de lier les données de localisation par Beacons avec ceux provenant du questionnaire, un ID unique a été créé. Nous nous sommes basé sur le même identifiant que les données de géotracking par DeadReckoning (ID aléatoirement généré et unique à un seul visiteur). Cet identifiant nous permet ainsi de lier toutes les bases de données visiteurs (trajectoire, beacons, et questionnaire).

### Déploiement/publications

Vu le contexte du COVID et les limitations de déplacement, plusieurs conférences ont décidé de reporter les dates. Malgré cela, CESI a travaillé sur la rédaction d'un article scientifique qui propose un algorithme de localisation indoor qui ne nécessite aucune infrastructure au préalable. Pour ce faire, nous proposons dans ce travail une localisation indoor via le champ magnétique terrestre. Dans ce contexte, la localisation d'un visiteur se fait *via* 3 phases : identification de la valeur du champ magnétique (capteurs téléphone), extraction de descripteurs (traitement du signal), et classification *via* un réseau de neurones profonds. Ainsi, *via* le capteur magnétique (*i.e.* compas, magnétomètre, etc.) nous collectons une série temporelle représentant la variation du champ magnétique dans une fenêtre de temps. Ensuite, la série temporelle obtenue est analysée et transformée en un vecteur contenant des descripteurs (ex. : min/max, moyenne, etc.) et une image représentant la variation du signal obtenu *via* l'analyse des récurrences (ou Recurrence Plot). Finalement, une phase de classification du signal transformé nous permet d'identifier la position du visiteur. Pour ce faire, nous avons développé :

- Un algorithme de classification (forêt aléatoire) qui prend le vecteur de descripteurs en entrée et nous fournit une classe (*i.e.* un point d'intérêt, une position) en sortie,
- Un réseau de neurones convolutifs (*i.e.*, VGG-16) utilisé afin de classifier les images obtenues par les graphes de récurrence.

Les résultats obtenus par les 2 algorithmes sont ensuite fusionnés par simple somme pondérée afin de prédire la position du visiteur.

L'accent a aussi été mis sur la préparation des dispositifs de localisation pour les présenter au grand public.

## 7.5 UV Robot - Innovative UV-robotics to improve existing IPM strategies and to benefit farmers, consumers and the environment

**Partenaires :** Chef de file : Proefcentrum Hoogstraten—partenaires : Octinion, STC research foundation, CESI, Roboscientific Limited, Comité d’Action Technique et Economique, Comité Départemental de Développement Maraîcher, NIAB EMR

**Appel à projet :** Interreg VB NWE (North West Europe)

**Budget global du projet :** 2,26 M€

**Budget CESI du projet :** 320 k€

**Financement global :** 1,35 M€



**Lancement du projet :** 20 septembre 2017

**Durée du projet :** 48 mois

### Résumé du projet :

Les avancées technologiques en robotique, en particulier le développement de robots mobiles autonomes, ont permis à plusieurs secteurs économiques d’automatiser des tâches complexes, irréalisables et/ou trop risquées pour être effectuées par un humain. De plus, quand leurs utilisations sont optimisées, ces robots sont vecteurs de compétitivité pour l’entreprise, vu leurs impacts positifs sur les indicateurs de performance en termes de coûts, qualité, délais et sécurité. Cependant, l’optimisation de l’utilisation des robots est souvent constituée de problématiques décisionnelles complexes liées à la planification, la supervision et le pilotage de leurs activités.

Dans le secteur agricole, le traitement avec des rayons UV-C (ultraviolets de type C) représente une alternative durable au traitement chimique actuellement utilisé contre certaines maladies comme le mildiou et l'oïdium. L’application manuelle de l’UV-C étant dangereuse pour des opérateurs, l’automatisation et l’optimisation de cette opération est nécessaire pour permettre son introduction en horticulture de façon efficace, sûre et rentable.

Le projet de recherche UV-ROBOT s’intéresse aux problématiques associées à la robotisation du traitement par UV-C dans l’horticulture. Ce projet a duré quatre ans et s’articule autour des trois objectifs principaux suivants :

- Développement de robots pour le traitement autonome du mildiou,
- Intégration du traitement UV-C dans les stratégies de protection intégrées IPM actuelles,
- Mise en œuvre de l’innovation par les producteurs.

Au cours du projet, nous avons développé et testé des robots UV-C et démontré leur rentabilité pour combattre le mildiou dans trois types de cultures:

- Cultures sphériques: fraises,
- Cultures verticales: tomate et concombre,
- Horizontal: laitue et basilic.

Les experts en horticulture de Belgique, de France et du Royaume-Uni ont trouvé ensemble les moyens d’inclure les UV-C dans les stratégies actuelles de lutte intégrée contre les ravageurs (IPM) pour chaque culture. L’expertise belge en automatisation et l’expertise française en analyse de données ont permis de développer ensemble des robots innovants capables d’utiliser les UV-C de manière autonome. De plus, la co-crédation de capteurs innovants pour la surveillance automatique du mildiou a réduit la charge de travail des producteurs et assuré un contrôle optimal de la maladie. Ceci est fourni par un partenaire britannique spécialisé dans le développement de nez électroniques. À la fin du projet, les robots développés sont disponibles pour les producteurs avec une interface conviviale et une stratégie de mise en œuvre spécifique à la culture. Des démonstrations dans la région de l’Europe du Nord-Ouest et une communication approfondie pendant et après le projet a permis d’informer les producteurs pour assurer la mise en œuvre de l’innovation. Avec cela, nous voulons rendre les



producteurs moins dépendants de la protection des cultures chimiques et ainsi réduire l'utilisation de pesticides et la quantité de résidus dans l'horticulture dans le nord-ouest de l'Europe.

### **Réalisations au 30 septembre 2021 (projet terminé) :**

Dans le projet UV-Robot, LINEACT CESI est leader du WP LT sur l'évaluation de l'impact économique à long terme de la solution UV-Robot. Il est aussi impliqué dans le développement de l'interface utilisateur qui permet le contrôle du robot et la définition de ses missions (WP T1).

Dans le cadre du WP LT, l'équipe CESI a continué le travail sur les modèles économiques envisageables pour la solution UV-Robot en améliorant l'estimation des coûts et la prédiction des pratiques. Nous avons aussi commencé l'étude du marché et la prédiction de la demande dans la zone Interreg. CESI a livré un simulateur des coûts pour les différents modèles économiques envisagés. En même temps, l'équipe a continué son travail sur le développement de la simulation des traitements effectués par le robot dans une serre, en introduisant un modèle stochastique pour l'évolution de la maladie. Différentes simulations ont été effectuées pour tester plusieurs scénarios de fonctionnement du robot et de stratégies de traitement (préventif, correctif ou mixte). Par conséquent, un algorithme d'ordonnancement dynamique a été conçu pour adapter le traitement de façon dynamique à l'évolution de la maladie dans l'ensemble de la serre. Ce travail a fait l'objet d'une publication et a été présenté dans une conférence internationale (Sohoma2020) et une conférence nationale (Roadef2020). Nous avons retravaillé le modèle économique du robot, et avons développé une enquête qui a été gérée par deux stagiaires différents.

Dans le cadre du WPT1, CESI est responsable de l'activité A3 sur le développement d'une interface utilisateur interactive pour la supervision et le contrôle du robot ainsi que la surveillance de l'évolution des infections et les traitements de la serre par le robot. Une première version de l'application web, permettant la supervision et le contrôle du robot dans la serre, a été présentée pendant la réunion annuelle du projet. Suite aux remarques des partenaires lors de la réunion annuelle, une deuxième version a été développée. La version actuelle comporte un "back-end", pour la gestion de la base de données, et un "front-end" pour l'affichage des données de supervision et l'interaction avec l'utilisateur. Nous avons continué à travailler sur l'interface graphique par la livraison d'une nouvelle version au début de l'année 2021. Nous avons aussi collaboré avec Roboscientifique pour l'amélioration du nez intelligent en utilisant l'intelligence artificielle. Malheureusement cette collaboration est arrivée tard dans le projet et n'a pas permis de produire un travail publiable.

Concernant la dissémination et diffusion, cette période a été marquée par la présentation du projet lors des conférences Roadef2020 et Sohoma2020, CyMaEn 2021 et MIM 2022. Les techniques utilisées dans le projet sur le thème de l'optimisation et des simulations ont été également présentées aux étudiants de CESI lors de certains cours. Il y a eu aussi la soutenance de thèse de Merouane Mazar le 10 janvier 2022.

## 7.6 FEDER GPS – Grid Power Sustainability

**Partenaires :** CESI, Evolution Energie, Luceor, Clem', Dot Vision, Elum, Ecole Polytechnique

**Appel à projet :** FEDER IDF

**Budget global du projet :** 2,06 M€

**Budget CESI du projet :** 145,2 k€

**Lancement du projet :** Mai 2018

**Durée du projet :** 30 mois

### Résumé du projet :

L'objectif du projet est de mettre en œuvre des démonstrateurs *in situ* relatifs au pilotage de la performance énergétique de bâtiments et d'usages de la mobilité électrique organisés sous forme de microgrid, c'est à dire d'un réseau électrique intelligent à l'échelle de l'éco-quartier. Les résultats seront orientés vers l'avenir pour s'intégrer dans les constructions d'éco-quartier et de "smart cities". Ils contribueront à la volonté de la région Ile-de-France d'améliorer l'efficacité énergétique des territoires.

Le projet #GPS a permis de créer des synergies entre les différentes initiatives et de les relier entre elles. Compte tenu des défis potentiels où les enjeux énergétiques et numériques seront très liés, ce projet s'inscrit à la fois dans les secteurs « Ingénierie des systèmes complexes et logiciels », « Création numérique », « Ecoconstruction et quartiers à forte performance environnementale » de la SRI-SI et dans les secteurs numériques et éco-activités de la SRDEI, et s'intègre dans deux des priorités de la Région : « le renforcement des PME/PMI d'Ile-de-France » (6 PME) et « la valorisation du potentiel d'innovation de la région ».



### Réalisations au 30 juin 2021 (projet terminé) :

Le projet FEDER GPS comporte deux volets : un premier volet technique pour l'intégration de sous-compteurs fournis par les partenaires industriels, un second, scientifique, sur l'analyse de données.

Pour le premier volet, les actions réalisées sont les suivantes :

- Finalisation du déploiement du VPN pour les connexions sortantes et sécurisation de l'accès aux données,
- Mise en fonction des sous-compteurs sur l'ensemble des sites expérimentaux

Pour le volet scientifique, les actions réalisées sont les suivantes :

- Réalisation des travaux de modélisation
- Exploitation des résultats de modélisation
- Valorisation des résultats par la publication d'un article de journal.

Le projet s'est achevé en juin 2021.

## 7.7 ANR CREAM - CREativity in Additive Manufacturing

### Partenaires :

- Chef de file : Arts et Métiers – Laboratoire Conception de Produits et Innovation
- Partenaires : CESI – LINEACT ; Université Paris Descartes – Laboratoire de Psychologie et d’Ergonomie Appliquées

**Appel à projet :** ANR Appel à projets générique 2018

**Budget global du projet :** 904,6 k€

**Budget CESI du projet :** 327,84 k€

**Financement global :** 456,66 k€

**Lancement du projet :** 1<sup>er</sup> janvier 2019

**Durée du projet :** 36 mois



### Résumé du projet :

Le projet CREAM (CREativity in Additive Manufacturing) a été retenu par l’Agence Nationale de la Recherche pour être financé sur la période 2019-2022. L’objectif est de proposer une suite d’outils et de méthodes pour stimuler la créativité des concepteurs en s’appuyant sur le potentiel inspirationnel des procédés de fabrication additive. Les méthodes conçues reposeront notamment sur des objets intermédiaires démontrant les capacités de ces procédés, afin de favoriser la sensibilisation, la créativité et l’intégration organisationnelle de la fabrication additive auprès des équipes de conception. Ce projet s’inscrit dans la stratégie de développement de LINEACT pour contribuer à l’Industrie du Futur, en cohérence avec l’installation du démonstrateur Unité Autonome de Fabrication Additive Métallique sur le campus de Nanterre, et assoit le positionnement de nos travaux dans la communauté de recherche sur la fabrication additive.

### Réalisations au 31 décembre 2021 :

- Dans ce projet a été conçue une série d’objets inspirationnels illustrant à la fois des opportunités de la fabrication additive (ex : complexité géométrique, hiérarchique, fonctionnelle) et des principes inventifs issus de TRIZ (théorie de résolution des problèmes inventifs).
- La conception et validation de ces supports de créativité a suivi une démarche itérative avec des expérimentations successives en laboratoire et sur le terrain.
- En 2021, ces travaux ont abouti au dépôt d’un brevet et à plusieurs publications dans des revues ACL (1 acceptée, 2 soumises).
- En raison de la crise sanitaire, certaines expérimentations ont été repoussées à 2022. Cela a cependant été l’occasion de travailler à la déclinaison de nos solutions de créativité en Réalité Virtuelle et Augmentée, ainsi qu’à la scénarisation de l’usage des objets inspirationnels (conception d’un jeu de plateau, gamification, serious gaming).
- Nous avons également poursuivi les actions de transfert vers la pédagogie (déploiement pour la 3<sup>ème</sup> année consécutive au sein de l’Option Fabrication Additive Métallique du cycle ingénieur généraliste) et avons réalisé une prestation de transfert auprès d’un acteur majeur de l’industrie aéronautique.

## 7.8 COOP - Culture innOvation et PrOtotypage pour l'entrePreneuriat

**Partenaires : CESI Campus Sud-Ouest**

**Partenaires : CESI Campus Sud-Ouest**

**Appel à projet : Fond Régional pour l'Innovation dans les Formations (Région Nouvelle Aquitaine)**

**Budget global du projet : 178 k€**

**Budget CESI du projet : 178 k€**

**Financement global : 119 k€**

**Lancement du projet : 1<sup>er</sup> septembre 2019**

**Durée du projet : 18 mois, délais étendus en raison du contexte sanitaire à novembre 2021.**

### Résumé du projet :

L'objectif de COOP est de créer une plateforme technique et pédagogique pour le prototypage rapide afin d'une part de former les apprenants à la culture d'innovation et l'entrepreneuriat et d'autre part d'accompagner les entreprises dans leurs projets. Les différentes phases du projet construit sur 18 mois sont les suivantes :

1/ Développement de la plateforme technique (T0 à T0+4mois) :

- Amélioration d'un laboratoire de prototypage rapide existant au sein du CESI Campus de Bordeaux avec notamment l'inclusion de technologies liées à l'internet des objets développées par des structures locales telles le CATIE (exemple du projet 6TRON).

- Mise en place d'une salle de créativité et de travail collaboratif

- Recrutement d'un pilote, animateur de la plateforme COOP

- Construction est mise en œuvre d'un site internet permettant d'identifier les projets et les besoins d'offres de compétences sur ces projets

2/ Développement de supports de formation et mises en œuvre de formations (T0+2mois à T0+18 mois)

- Développement de supports de formation liés à l'utilisation d'outils de prototypage rapide et de créativité/collaboration

- Accompagnement de projets préconstruits par le pilote de la plateforme COOP

3/ Dissémination auprès du public et des entreprises (T0+5 mois à T0+18 mois)

- Actions de communication à destination des étudiants décrocheurs offres de compétences, grand public et des scolaires ainsi qu'auprès de l'ensemble des acteurs de la formation qui peuvent être prescripteurs et/ou utilisateurs de la plateforme COOP.

- Ouverture des portes au public (scolaires et grand public) pour des actions de sensibilisation

- Captation de projets d'accompagnement, en lien avec les pépinières, incubateurs du territoire, venant d'entreprises pour servir de support à la mise en pratique de compétences acquises.

### Réalisations au 30 novembre 2021 (projet terminé) :

#	Livrables	Indicateurs	Réalisé au 30/11/2020
1	Supports de formation	> 6	<b>7 finalisés</b>
2	Temps d'occupation	> 80%	<b>72% de mars 2019 à février 2020</b>
3	Nombre d'apprenants	250<x<400	<b>345</b>
4	Nombre de projets accompagnés	>5	<b>6</b>

5	Nombre d'évènements à destination du grand public et des scolaires organisés	>5	9
6	Taux de satisfaction des utilisateurs vis à vis de l'utilisation de COOP en termes d'acquisition de compétences	(>80%)	<b>Questionnaires analysés. 95% d'autoévaluations positives en terme d'acquisition de nouvelles compétences.</b>
7	Communication et promotion	Affiche A3 Logos Introduction sur le projet et le soutien par le FSE et la Région	<b>Création d'une vidéo de présentation ainsi que du site internet.</b>



## 7.9 NUMERILAB - Environnements Numériques Instrumentés pour les Apprentissages Humains

**Partenaire :** chef de file CESI

**Appel à projet :** Recherche & Innovation Région Normandie

**Budget du projet :** budget CESI 523 k€

**Lancement du projet :** 1<sup>er</sup> juillet 2019

**Durée du projet :** 36 mois

**Résumé du projet :**



Avec la démocratisation et l'essor des technologies numériques telles que la réalité augmentée ou la réalité virtuelle, le développement et l'exploitation d'environnements augmentés et d'environnements virtuels pour les apprentissages humains (EVAH) connaissent une forte évolution et apparaissent comme un élément de rupture dans le domaine de la formation. En parallèle, le développement des capteurs et des méthodes issues de l'Intelligence Artificielle (IA), permettent d'acquérir et d'analyser des données sur les activités humaines telles que les postures et mouvements, les mouvements oculaires, les gestes ou encore des données biométriques pouvant donner des informations sur l'engagement, la motivation, la charge cognitive ou encore le stress. Ces données présentent un fort potentiel pour évaluer des activités d'apprentissage et pour améliorer le transfert des acquis, les interactions et les simulations dans ces environnements virtuels.

Le projet de NumeriLab sur les environnements numériques instrumentés pour les apprentissages humains s'inscrit dans ce contexte et s'appuie sur des compétences pluridisciplinaires dans les domaines des Sciences du Numérique, de l'Informatique, des Sciences Sociales et Cognitives. Les enjeux de Recherche et d'Innovation (R&I) portent sur le développement de ces environnements numériques instrumentés et des outils de scénarisation et de suivi pédagogique associés pour permettre leur utilisation comme environnement d'apprentissage. Ils portent également sur l'analyse des activités, traces et données d'apprentissages pour permettre des mises en situation (simulation) dynamiques et adaptatives et pour évaluer les impacts sur les acquisitions de connaissances et compétences. Dans ce contexte, le projet de NumeriLab porte sur le développement et la mise en place d'un plateau technique dédié intégrant des outils de captures et d'analyses de données couplés à des méthodes et outils d'évaluation, de scénarisation et de suivi pédagogique.

**Réalisations au 31 décembre 2021 :**

Les principales réalisations sont :

- L'état de l'art sur les approches d'IA basées sur des méthodes d'apprentissages profonds a été approfondi en se focalisant sur les algorithmes de classification de données temporelles multivariées. Après cette étude l'architecture MLSTM (Multivariate LSTM) a été sélectionnée.
- Le développement du protocole d'acquisition du dataset IVRASED (Industrial Virtual Reality Activity Self-Efficacy Dataset) permettant d'obtenir, de manière synchrone, des données temporelles des capteurs: EEG, ECG, GSR, Eye-tracking, associées au sentiment de compétence déclaré par le participant, lors de la réalisation d'activités d'assemblage industriel en réalité virtuelle (voir Figure 18).
- L'acquisition du jeu de données IVRASED avec 15 participants pour un total de 890 minutes d'acquisition, comprenant 406 réponses de sentiment de compétence avant et après chaque activité effectuée. Ce jeu de données a vocation à être publié auprès de la communauté scientifique et permettra ensuite de travailler sur l'estimation du sentiment de compétence lors d'une activité de formation à partir des données de capteurs. Le dataset est utilisable en python avec le framework Tensorflow (ou PyTorch) et est structuré pour le traitement des données par des méthodes temporelles et fréquentielles.

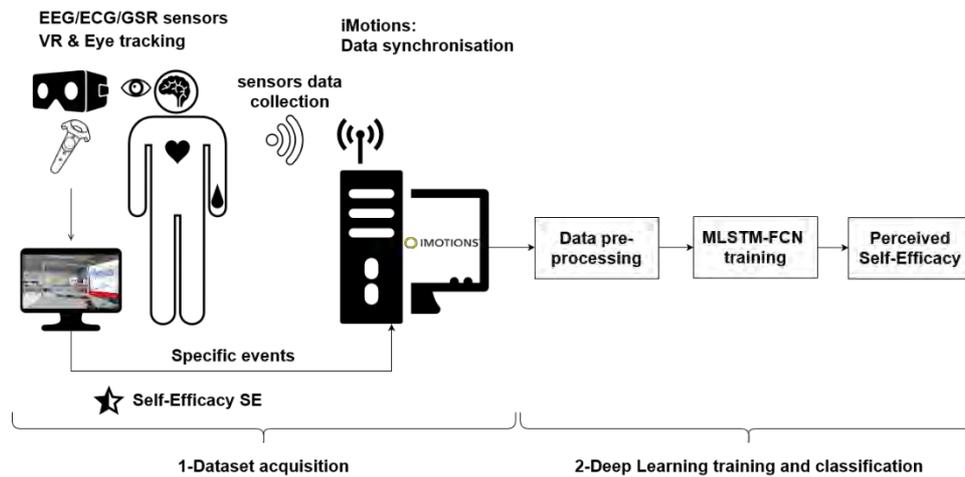


Figure 18: Protocole d'acquisition du jeu de données IVRASED (Industrial Virtual Reality Activity Self-Efficacy Dataset).

- L'utilisation de l'architecture d'apprentissage profond MLSTM avec le dataset IVRASED pour de la classification binaire du sentiment de compétence et l'étude de l'influence des capteurs utilisés lors de l'apprentissage. 63 combinaisons possibles parmi les capteurs inclus dans le dataset IVRASED ont été testées. Des techniques d'augmentation de données ont été mises en place et ont amélioré la précision jusqu'à 10%. Le meilleur résultat a été obtenu avec la combinaison *Eye-tracking – ECG*, avec une précision de 77,8%.
- L'étude 1 ayant utilisé l'ensemble des caractéristiques (i.e. données temporelles) fournies par chacun des capteurs (de 2 à 9 données temporelles par capteurs), dans l'étude 2, nous avons souhaité tester l'influence sur les résultats en ne prenant que des sous-ensembles de caractéristiques de capteurs pour de la classification binaire du sentiment de compétence. 505 combinaisons ont été testées. L'étude montre que la meilleure approche est obtenue avec des combinaisons utilisant un sous-ensemble de données issues de l'EEG, avec une précision de 86,6%.
- Les résultats obtenus lors des différentes études ont permis de présenter les travaux de NumeriLab dans différents événements impliquant des officiels, des industriels et des étudiants.

Rédaction d'une publication intitulée: "A dataset and methodology for self-efficacy feeling prediction during industry 4.0 VR activity" pour la conférence IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces abstracts and workshops (IEEE VR 2022)

## 7.10 Rouen Mobilités Intelligentes pour tous

**Partenaires :** Chef de file : Métropole Rouen Normandie

**Appel à projet :** appel à projets Territoire d'Innovation Grande Ambition (TIGA)

**Budget CESI du projet :** 443 k€

**Financement global PIA :** 5,2 M€

**Lancement du projet :** Phase 2 – janvier 2020

**Durée du projet :** 48 mois pour la phase 2 de réalisation

**La Métropole Rouen Normandie, porteuse du projet, « Rouen Mobilités Intelligentes pour tous » lauréate de l'appel à projets Territoire d'Innovation Grande Ambition (TIGA).**

### Le projet

La Métropole de Rouen et ses 36 partenaires souhaitent développer un système de mobilité intégré à grande échelle qui devra permettre le développement de modes de déplacement choisis et sans contrainte tout en réduisant leurs impacts environnemental et physique. Le projet transformera profondément la façon de se déplacer grâce à des solutions innovantes, qu'il s'agisse de mobilité autonome, décarbonée, digitale, partagée, connectée, de maîtrise des usages de l'espace public ou d'accompagnement au changement de comportements.

### Implication de CESI LINEACT dans le projet :

L'équipe de recherche CESI LINEACT Campus de Rouen est impliquée dans trois actions principales :

- Participation au comité d'orientation scientifique et technique du projet,
- Développement de travaux R&D sur l'analyse des masses de données, la simulation et le développement de modèles prédictifs qui représentent des enjeux importants pour la fourniture de services aux usagers et le développement d'outil d'aide à la décision pour les acteurs de la ville dans le contexte de la ville intelligente et des systèmes de transport intelligents,
- Accompagnement à l'idéation et à l'innovation comprenant notamment le benchmark de dispositifs existants et l'animation d'ateliers d'idéation dans le cadre du Living Lab du projet.

### Réalisations au 31 décembre 2021 :

- Action Hyperviseur.
  - Etat de l'art sur les outils et modèles pour la planification et la supervision d'un système de transport multimodal. Sans aucun doute, la mobilité est au cœur de notre vie de tous les jours. Selon les données de l'INSEE on compte plus de 6.5 millions de trajets journaliers en France, avec une évolution moyenne de 1% d'année en année. Le bus reste la modalité la plus appréciée, et plus répondu absorbant 71% des trajets effectués en 2019. Pour cela, il est de la plus haute importance pour les sociétés modernes de maintenir des systèmes de transport efficaces et efficients. Maintenir de tels systèmes complexes est une tâche très difficile due à des contraintes budgétaires strictes et à un manque de consentement politique. Rajouté à cela, l'aspect dynamique du système nécessite l'accès, la collecte, et le traitement d'une masse de données afin de prédire des situations de congestion ou de forte demande. Durant cette période, l'équipe CESI a travaillé sur le rapport d'état de l'art qui présente : les travaux existants dans le domaine de la mobilité intelligente, les directions futures du projet notamment la supervision prédictive de tels système. Un premier travail a été initié sur l'outil de supervision prédictive pour un système de transport multimodal, notamment le modèle de simulation de ce type de système de transport public, intégrant plusieurs modalités de transports. Pour représenter les interactions entre les différentes entités du système nous nous sommes intéressés aux systèmes multi-agents qui permettent notamment la simulation de tels systèmes complexes.
  - Rédaction du projet de recherche doctoral portant sur la supervision prédictive d'un système de transport multimodal. Suite à cela, une doctorante a été recrutée dont l'objectif est de proposer, concevoir et développer un système de supervision/hypervision d'un système de transport public intégrant plusieurs modalités de transport.

- Action Living Lab
  - Revue de la littérature sur les OpenLabs et LivingLabs
  - Rédaction et lancement d'un projet de recherche doctoral.
  - Etude exploratoire sur les caractéristiques d'un OpenLab
  - Participation aux différents ateliers dédiés à la création du LivingLab de Rouen
  - Analyse documentaire et de l'écosystème relatif au projet Rouen Mobilité Intelligente pour Tous
  - Création d'un guide d'entretien pour interviewer les acteurs du LivingLab Rouen
  - Etude et analyse de la French Tech Normandy (French Tech Rouen, French Tech Caen, French Tech Le Havre) pour permettre des parallèles avec le Living Lab Mix.



## 7.11 PLFADDT « Le Parc Logistique du Futur Acteur d'un Développement Durable des Territoires »

**Partenaires :** Chef de file Cerema, partenaires Logistique Seine Normandie, NOVALOG, l'ENSA, CESI et NEOMA-BS.

**Appel à projet :** CPIER Vallée de la Seine

**Budget global du projet :** 498 k€

**Budget CESI du projet :** 48 k€

**Financement global :** 1,54 M€



**Lancement du projet :** 1<sup>er</sup> septembre 2019

**Durée du projet :** 24 mois

### Résumé du projet :

La logistique se présente comme une interface nécessaire des systèmes productifs. Située à la croisée des chemins entre activités productives, dynamiques de territoires et demande de clients, cette activité fondée sur les échanges d'informations et de marchandises et ses acteurs sont dans l'obligation de raisonner en collaboration. Pour faire face aux transitions rapides et simultanées dans les domaines énergétiques, écologiques, numériques, organisationnels et sociétaux, l'industrie se réinvente en « usine du futur » pour « faire plus avec moins » et bouleverse ses modes d'organisation pour répondre à une économie de la fonctionnalité et l'usage des produits plutôt que l'achat simple du produit.

Confrontée aux enjeux généraux de préservation de la biodiversité, du réchauffement climatique de limitation des ressources, et de raréfaction des disponibilités foncières, l'usine du futur recompose ses modes de conception, production et commercialisation. Ainsi l'évolution du modèle d'affaires conduit à instaurer un dialogue permanent avec les parties prenantes pour inscrire l'usine du futur dans un écosystème vertueux des territoires.

Les nouveaux matériaux et les outils numériques de l'entreprise étendue (*cloud, crowd sourcing, maquette numérique et simulation, big data, réseaux sociaux, espaces collaboratifs, tablettes, robots collaboratifs, capteurs RFID, imprimante 3D et fabrication additive, internet des objets, ...*) révolutionnent les processus. Tout au long de la chaîne de valeur, le dialogue avec les parties prenantes (clients, fournisseurs, actionnaires) et l'écosystème local (territoires, salariés, associations) se renforce pour réussir des projets intégrés au territoire et aptes à diminuer l'empreinte environnementale tout en développant l'emploi à chaque stade.

L'ambition est de construire une nouvelle approche de l'implantation logistique répondant aux enjeux de l'économie 4.0 et d'aller plus loin pour accompagner l'excellence logistique du territoire et renforcer son attractivité.

Ainsi la Vallée de la Seine serait le premier territoire en mesure de réaliser le parc logistique du futur répondant aux enjeux de l'usine du futur et du territoire, inscrits tous deux dans l'économie 4.0.

Le projet PLFADDT s'inscrit dans la vision d'une logistique plus durable pour laquelle les zones d'activités jouent un rôle clé. Les entreprises et les territoires sont impactés par les transformations majeures en matière de mobilité, transition écologique et énergétique et de révolution digitale.

Les zones d'activités se présentent alors comme des espaces de service au territoire permettant de répondre à la mobilité des marchandises aux différents échelles, de l'international au dernier kilomètre, facilitant les ruptures de charge entre mode de transports et intégrant les réponses aux différents risques à l'échelle de la zone d'activité plutôt qu'à l'échelle de la parcelle.

Le rôle de CESI dans ce projet se concentre sur le WP3 intitulé « de la zone logistique au parc logistique » et consiste à proposer un modèle du parc logistique du futur qui se base sur la multi-modalité et l'intégration dans le tissu économique local.

**Réalisations au 30 avril 2022 :**

CESI est responsable du WP 3 concernant la logistique 4.0, ses technologies et son déploiement. Le principal contributeur avec CESI dans ce WP est NEOMA-BS. Durant cette année, les actions menées par CESI sont les suivantes :

1. Réalisation d'un état de l'art sur la logistique 4.0, les entrepôts modernes 4.0 et les technologies utilisées dans ce type d'entrepôt,
2. Etablissement d'une liste d'indicateurs de performances d'un system de logistique 4.0,
3. Définition et classement des technologies nécessaires au fonctionnement d'un entrepôt 4.0 en prenant en compte leur maturité et leur nécessité d'utilisation,
4. Classification des activités industrielles dans la région autour de l'axe Seine et proposition de spécialisation de l'entrepôt qui sera développé,
5. Définition des indicateurs de performance des entrepôt 4.0 et leurs liens avec les technologies utilisées,
6. Réflexion avec NEOMA-BS afin de définir une stratégie d'intégration de ces installations dans le territoire,
7. Développement d'un modèle de simulation qui est à compléter et à exploiter durant l'année 2021. Le but est de tester et analyser l'effet d'une éventuelle nouvelle plateforme logistique 4.0 sur les installations existantes et sur l'activité économique de la région.

Nous avons recruté un autre stagiaire et nous avons travaillé sur le complément de l'état de l'art et le développement d'un simulateur sur NetLogo pour représenter le comportement micro de l'entrepôt 4.0, travail qui a permis d'obtenir un modèle et un simulateur fonctionnel. D'un autre coté l'équipe a travaillé sur le développement du modèle macro de la logistique 4.0 en proposant un modèle d'optimisation qui a été publié dans la conférence CyMaEn 2021. En complément de l'état de l'art et des modèles de simulation et d'optimisation, nous avons livré un document d'analyse et de recommandation.

## 7.12 Label d'excellence Campus des Métiers et des Qualification Aéronautique et Spatial Occitanie

**Partenaires :** CMQ aéronautique et Spatial Occitanie, Lycée Saint Exupéry, UIMM Occitanie, Université Fédérale de Toulouse.

**Appel à projet :** PIA label d'excellence des Campus des Métiers et des Qualifications

**Budget CESI du projet :** 223 k€

**Financement global PIA :** 4 M€

**Lancement du projet :** 1<sup>er</sup> juillet 2020

**Durée du projet :** 10 ans dont 4 ans pour la phase 1

### Objectif de l'action CESI :

Pour CESI, la principale action concerne une thèse de doctorat portant sur les environnements d'apprentissage instrumentés. Les objectifs de la thèse proposée peuvent se formuler de la manière suivante :

- Sur le plan théorique : la perspective interactionniste sert de base commune aux travaux du thème « Apprendre et Innover » du LINEACT-CESI. On peut la résumer par quelques formules, citées parmi d'autres, remarquablement convergentes : celle de Lewin (1935, 79) ; celle de Bandura (2003, 16-18) ou celle de Lahire (2012, 21), à savoir : le comportement (les pratiques) résulte(nt) des interactions entre la personnalité (les dispositions) et l'environnement (le contexte). En s'inscrivant dans cette perspective, il s'agira de construire un cadre conceptuel cohérent et de concevoir un modèle reliant les facteurs favorisant la persistance dans les situations d'apprentissage instrumentées aux ressources (internes et externes) liées aux caractéristiques physiques, sociales et techniques des environnements, perçues sous l'angle « d'affordances » (Gibson, 1979 ; Simonian, 2016) ou encore « d'attracteurs cognitifs » (Lahlou, 2000). On regardera aussi comment les facteurs favorisant la persistance dans les situations d'apprentissage instrumentées jouent dans le processus Capabilité (Fernagu-Oudet, 2018) : facteurs de conversion ? facteurs de choix ? Les deux ?

- Sur le plan empirique : il s'agira de valider le modèle proposé en confrontant l'étude d'environnements d'apprentissages instrumentés dans lesquels se déroulent les formations proposées par les partenaires du Campus des Métiers de l'Aéronautique aux résultats obtenus et aux perceptions des apprenants. Les ressources et les caractéristiques des environnements pourront être mesurés à l'aide d'échelles existantes ou de leur adaptation. A titre d'exemple, les mesures des ressources internes pourront s'appuyer sur des échelles comme l'Échelle de Motivation en Formation des Adultes (Fenouillet, Heutte & Vallerand, 2015), l'Échelle d'Auto-Régulation des apprentissages En Ligne (Cosnefroy, Fenouillet & Heutte, 2019) ou la nouvelle Échelle d'Apprenance (Grasset, 2019). Pour les ressources externes liées aux caractéristiques sociales des environnements, on pourra utiliser par exemple l'Échelle de Perception Instrumentale de Communautés (Heutte & alii, 2016), l'Échelle de la Régulation Individuelle et Collective de l'Apprentissage (Kaplan & alii, 2017) ou encore l'Analyse des Réseaux (Grasset, 2019). Pour les ressources externes liées aux caractéristiques techniques de l'environnement, on pourra utiliser, par exemple, une échelle comme celle proposée par l'Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (Venkatesh & alii, 2003).

Au 31 décembre 2021, nous avons recruté et intégré la doctorante.



**CAMPUS DES MÉTIERS  
ET DES QUALIFICATIONS**  
Aéronautique et spatial Occitanie

### 7.13 EVAL ACP

**Partenaires** : CNAM Occitanie, ICAM Toulouse, 3IL

**Appel à projet** : Innov'Emploi volet Expérimentation - Région Occitanie

**Budget CESI du projet** : 39 k€

**Financement global PIA** : 4 M€

**Lancement du projet** : 06 juin 2020

**Durée du projet** : 18 mois

#### **Objectif de l'action CESI :**

Porté par CESI, en partenariat avec 3IL, le CNAM Montpellier et l'ICAM de Toulouse, ce projet a pour objectif de valider un outil de mesure en autoévaluation de 13 aptitudes et comportements professionnels jugés indispensables dans le monde socio-économique : recherche d'emploi, mobilité professionnelle, insertion et maintien dans l'emploi. Ces mesures portent sur trois dimensions comportementales : personnelle, relationnelle et actionnelle.

Réalisation au 31 décembre 2021 :

Les chercheurs de LINEACT CESI ont créé une grille d'autoévaluation, sur la base d'échelles psychométriques, pour pouvoir mesurer de manière fiable et objective les 13 aptitudes les plus demandées aujourd'hui : disposition à apprendre, confiance en soi, curiosité, engagement, esprit d'entreprendre, inventivité, adaptabilité, capacité à travailler en équipe, écoute active, leadership, sens de la relation, autodétermination, rigueur.

Cette grille d'autoévaluation composée de 166 questions, dont 153 portant sur les 13 aptitudes en question, est en ligne. Les réponses sont traitées de manière à donner une note entre 1 et 10 pour chaque aptitude. L'élève connaît ainsi son positionnement sur chacune des 13 aptitudes évaluées. Cet outil est en cours de validation suite aux réponses de plus de 900 élèves de CESI et des 3 écoles partenaires (3IL, le CNAM et l'ICAM).



## 7.14 SCOPES

**Partenaires :** LINEACT CESI, LITIS, IRSEEM

**Appel à projet :** ANR ASTRID Robotique 2021

**Budget CESI du projet (financement) :** 210 k€ (105 k€)

**Budget global (financement) :** 547 k€ (300 k€)

**Lancement du projet :** 1<sup>er</sup> janvier 2022

**Durée du projet :** 30 mois



### **Objectif de l'action CESI :**

Les domaines de l'industrie 5.0 et de la défense reposent de plus en plus sur des systèmes de systèmes où des agents robotisés doivent s'adapter aux humains avec lesquels des interactions s'opèrent. L'utilisation de flottes hétérogènes d'agents disposant de dispositifs de perception est une aubaine qui permet, après fusion des informations individuelles, de proposer des solutions aux problématiques d'optimisation d'exploitation de la flotte, de sécurisation du convoi, d'amélioration de la sécurité et de la sûreté au service des opérateurs humains, ainsi que de l'accroissement de la flexibilité suite à la reconfiguration de situations ou de l'environnement.

La mutualisation de l'information permet de produire une vue globale de la situation issue des perceptions individuelles de chaque agent robotique ou non. Chaque module individuel de perception produit une interprétation de scène qui est par nature entachée d'incertitude. Les conséquences d'un déploiement de la flotte en environnements complexes ou hostiles doivent également être considérées. Le lien de communication requis pour l'échange d'information est sujet à une bande passante qui peut être très limitée voire inexistante quand le lien est rompu même temporairement. Les positions des points de vue nécessaires à la création de la vue de situation sont également tributaires de la qualité de l'information des sources de localisation lorsqu'elles sont disponibles.

Le projet SCOPES propose de développer une solution de production de vue de situation augmentée par l'incertitude comme source d'information décisionnelle. Les contributions du projet seront :

- Un formalisme de représentation de la vue de situation, intégrant les différentes sources d'incertitudes, permettant une interprétation par l'humain,
- Une méthode robuste de localisation basée sur le paradigme des graphes et l'information sémantique fournie par chaque agent,
- Une spécification fonctionnelle et les jeux de données associés pour évaluation objective et quantitative des situations de perceptions collaboratives grâce à l'exploitation des plateformes technologiques remarquables des partenaires du projet.

Le projet SCOPES aboutira à des productions de niveau TRL 4. L'intérêt du projet pour les acteurs économiques a été reconnu par la labellisation du projet par NAE (Normandie AeroEspace).



## 7.15 JENII

**Partenaires :** ENSAM, CNAM, CESI, CEA Tech

**Appel à projet :** PIA 4 Démonstrateurs Numériques dans l'Enseignement Supérieur - « DemoES »

**Budget CESI du projet :** 1,99 M€ (aide 1,74 M€)

**Financement global PIA :** 9,5 M€



**Lancement du projet :** Novembre 2021

**Durée du projet :** 3 ans

### Objectif de l'action CESI :

Le projet **JENII** (Jumeaux d'Enseignement Numériques, Immersifs et Interactifs), ANR-21-DMES-0006, est un démonstrateur de l'enseignement supérieur, soutenu par le programme d'investissement d'avenir « DemoES » 2021 et regroupant un consortium de trois partenaires académiques membres de HESAM Université : l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM), le Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM), le groupe d'enseignement supérieur et de formation professionnelle (CESI) et un centre de recherche technologique de référence, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA).

Le projet d'une durée de 3 ans a débuté en Novembre 2021.

L'ambition du projet est de proposer une offre de formation spécifique pour l'industrie du futur fondée sur la technologie des jumeaux numériques immersifs et collaboratifs de systèmes industriels réels. Cette offre est destinée à impacter une large diversité d'apprenants, de formateurs et d'établissements d'enseignement technologique. Intégrant des aspects de personnalisation, d'accès multi-site et de multi-modalité ; cette nouvelle offre de formation permettra d'une part de donner accès à distance aux systèmes industriels réels dans leur complexité propre et d'autre part d'utiliser pour la formation des outils qui font ou feront partie du monde industriel lui-même.

Le projet JENII fait rupture dans la formation technologique puisque l'objet et la méthode de formation évoluent de concert avec le contexte auquel ils forment. Le projet JENII permet de transformer le paradigme de la formation technologique par deux avancées majeures :

- Mettre à disposition des environnements de formation technologique accessibles à distance, sans avoir recours à des représentations virtuelles simplifiées du monde industriel plus synonymes de jeu que d'univers de formation, constituant une clôture ludique au lieu d'être une ouverture à un monde auquel on se prépare ;
- Permettre le développement et la diffusion rapides des outils pédagogiques nécessaires pour accompagner les évolutions technologiques et les métiers de l'industrie, par une mise à disposition rapide d'un environnement développé par un partenaire à un besoin de formation exprimé par un autre.

Le projet vise à développer des nouveaux environnements d'apprentissage, des modèles de formation et des méthodologies pour permettre le déploiement (matériel et humain), l'adaptation à des formations individualisées et multimodales, la formation des formateurs et l'accompagnement à la transformation. Les acteurs du projet sont investis dans la formation technologique, initiale et professionnelle, à différents niveaux (ingénieurs, techniciens) dans une logique de réseau national. Ils ont chacun une proximité forte avec le monde industriel (formation et recherche). Enfin, le projet intègre sur l'ensemble des objectifs à atteindre et du plan d'action une logique de partenaires et de territoires (EdTech et industriels pour le partage des outils et connaissances - stratégie de diffusion open source et Creative Commons - ainsi que les territoires comprenant des TNE et des CMQ).

Les actions de CESI et LINEACT CESI portent sur :

- La coordination du WP1 : Développement ou amélioration de parcours pédagogiques hybrides et multimodaux individualisés,
- La R&D sur les Jumeaux Numériques des plateformes Industrie du futur et Fabrication additive métallique,
- L'intégration des JNs dans nos formations,
- L'analyses de l'impact des dispositifs sur l'apprentissage et l'insertion professionnelle future,
- La participation à la preuve de concept et aux expérimentations sur les campus virtuels.

## 7.16 Pédagogie de l'Alternance

**Partenaires :** IUMM, OPCO2i, CESI LINEACT

**Appel à projet :** France Compétences

**Budget CESI du projet :**

**Financement global :**

**Lancement du projet :** Décembre 2021

**Durée du projet :** 4 mois



**Objectif de l'action CESI :** Réaliser les enquêtes, les instruire, formaliser les résultats et les intégrer de manière concourante au guide de la pédagogie de l'alternance.

Le projet Pédagogie de l'alternance est commandité par l'observatoire des compétences de la métallurgie et financé par l'OPCO2i. La finalité de ce projet est de produire un guide de la pédagogie de l'alternance adressable à un ensemble d'acteurs : apprenants, formateurs, centres de formation, organisations professionnelles, institutionnelles, etc., issus ou non de la branche Métallurgie ; ce guide sera renseigné à partir des résultats d'un certain nombre d'enquêtes concourantes dont la visée est de :

- **Définir ce qu'est l'alternance du point de vue pédagogique:** ses formes pédagogiques et ses principes directeurs,
- **Identifier la culture pédagogique de l'alternance de la branche et son positionnement** en étudiant des pratiques d'alternance propres à la branche et leur instrumentation (régulation et pilotage des formations),
- **Repérer des pratiques pédagogiques d'alternance** spécifiques et/ou innovantes,
- **Identifier des critères d'efficacité des pédagogies de l'alternance** du point de vue des différents acteurs de la Branche,
- **Comparer des politiques et des pratiques pédagogiques** d'alternance en dehors de la Branche.

Différentes enquêtes contribuent à atteindre ces objectifs :

- une enquête qualitative auprès de 103 acteurs de la formation par alternance de la branche (formateurs, responsables pédagogiques, organisations patronales, syndicales, maîtres d'apprentissage, tuteurs) et 46 alternants,
- une enquête quantitative auprès de 1724 alternants (du CAP aux écoles d'ingénieurs) issus ou de CFA et centres de formation relevant de la métallurgie,
- une enquête documentaire à visée scientifique : état de l'art de la recherche, interview de 15 chercheurs experts des questions de compétences, benchmark des pratiques d'alternance dans 3 pays voisins (Finlande, Suisse, Royaume Uni),
- une enquête comparative par entretiens auprès de différents CFA et centres de formation ne relevant pas de la Métallurgie (CESI, ENISE, CENTRALE, Universités, Educagri, MFR, etc.).

Les actions de LINEACT CESI portent sur l'ensemble de ces enquêtes, leur production et diffusion, le traitement des résultats et la production du guide.



## 7.17 C CARE : Covid Channel Area Response Effort

**Partenaires :** Chef de file : Kent County Council – Partenaires : New Anglia LEP, Norfolk County Council, Plymouth City Council, Région Hauts-de-France, Pas de Calais Tourisme, Département du Finistère et CESI.

**Appel à projet :** INTERREG VA TRANSMANCHE

**Budget CESI du projet :** 440 k€

**Lancement du projet :** 1<sup>er</sup> avril 2020

**Durée du projet :** 48 mois



### Résumé du projet :

Le projet C-CARE se concentre sur les différents types d'interventions mises en place pour lutter contre les effets de la pandémie de Covid-19 sur la zone France Manche Angleterre.

Le projet C-CARE fera le point sur les interventions financières (soutien et conseil aux entreprises), les interventions en matière de compétences pour soutenir l'accès au marché du travail, y compris les compétences numériques, les interventions de coordination telle que l'approche stratégique de la gestion des activités multi-agences (partenariats entre le secteur public et le secteur bénévole) pour soutenir les communautés et les entreprises. L'objectif est d'aider à identifier les bonnes pratiques qui ont été mises en place et d'aboutir à des recommandations pour le futur.

### Réalisations au 30 avril 2022 :

A ce jour, nous avons réalisé une revue de la littérature sur l'impact du Covid-19 sur les PME et la résilience des entreprises. Pour cela, nous avons sélectionné 122 articles dans des revues scientifiques et analysé leur contenu, créé une carte mentale pour relier les différents concepts et rédigé un rapport de synthèse. Les résultats de ce travail ont été présentés lors d'un atelier le 06.09.2021 et lors de l'événement de lancement le 14.09.2021.

Nous avons également réalisé un benchmark pour identifier la revue des interventions du Covid 19 de Normandie. Nous avons identifié 47 interventions réalisées sous 3 thèmes différents. Toutes ces interventions ont été décrites dans un rapport en français et en anglais. Les résultats de ce travail ont été présentés lors d'un atelier spécifique le 26.01.2022.

Nous avons également identifié certaines réponses mises en place par les entreprises pour faire face à une crise et identifié ainsi 4 réponses stratégiques (sortie, repli, persévérance et innovation), 4 types d'innovation de modèle d'entreprise (évolutionnaire, ciblée, adaptative et complexe) et 8 modalités de changement. Nous avons ensuite développé un cadre pour relier ces différents éléments. Ces résultats font l'objet d'un article dans une conférence.

Pour tester et valider ce cadre, nous souhaitons interroger les PME. Nous avons donc développé une enquête et défini les caractéristiques des PME à interviewer. Nous avons essayé de trouver des PME et avons mobilisé des partenaires pour nous aider à les identifier. A ce stade, nous avons contacté plus de 50 entreprises dans l'agroalimentaire, 50 dans le tourisme, 30 dans l'informatique/le numérique : 6 interviews ont été menées.

## 7.18 AntiHpert - Opérateur 4.0 et anticipation dynamique de ses perturbations dans les ateliers de production

**Partenaire :** CESI, ULHN et ESIGELEC.

**Appel à projet :** RIN recherche

**Budget global du projet :** 385 k€

**Budget CESI du projet :** 155 k€

**Lancement du projet :** 1<sup>er</sup> octobre 2021

**Durée du projet :** 42 mois



Résumé du projet :

Dans le cadre de cette étude, nous allons considérer le cas d'un atelier de production de type Jobshop Flexible, où les machines de production peuvent exécuter plusieurs types d'opérations et les produits ne suivent pas toujours le même cheminement dans l'atelier de production.

Les objectifs de ce projet se positionnent dans le thème de la conception et de l'implémentation d'approches axées sur les données dans des systèmes d'information d'entreprise existants (ex. : ERP, MES, etc..) leur permettant ainsi d'être réactifs face aux aléas. La mise en place de cette approche doit permettre de lever plusieurs verrous technologiques et scientifiques que nous résumons dans les trois verrous suivants :

- **Axe 1 – Méthodes de détection (collecte et interprétation de données)** - Dans cet axe de travail on se propose d'aborder de manière conjointe le problème de localisation de l'opérateur et de la détection et localisation des objets à partir d'un système de vision stéréoscopique. Afin de déclencher une action anticipative (ré-ordonnancement, réaffectation, etc.) sur un évènement qui n'a pas encore eu lieu, il faut pouvoir localiser les opérateurs humains dans l'atelier de production et observer le déroulement de leurs tâches (reconnaissance d'objets 3D et identification de niveau d'avancement de la tâche). En effet, Il existe des technologies pour localiser les personnes en indoor avec une grande précision, mais celles-ci restent onéreuses et/ou encombrantes pour une utilisation industrielle. Si on vise une implémentation de la solution dans des PME, il est nécessaire de développer des technologies à bas coût permettant d'obtenir une précision nécessaire pour mettre en place les autres étapes de la démarche. En plus, pour détecter des dérives (temps d'exécution ou qualité) sur le déroulement d'une tâche de production, il faut pouvoir observer, en temps réel ou à travers des inspections régulières, le bon déroulement des différentes opérations qui la constitue. Des technologies basées sur la vision et l'intelligence artificiel ainsi que des plans d'inspection de produits doivent être mises en place pour résoudre ce verrou de détection de dérives sur l'exécution d'une tâche.
- **Axe 2 – Modélisation du comportement humain** - Afin d'anticiper l'arrivée ou l'effet d'une perturbation, il faut définir un modèle de comportement spécifique à chaque opérateur en plus des modèles dynamiques de comportement des outils de production. Ces modèles sont nécessaires pour pouvoir définir les prochains états du système. De nombreux travaux se sont intéressés à la définition des modèles de dégradation des systèmes technologiques qui peuvent permettre la prédiction d'apparition d'anomalies et la définition des plans de maintenance prédictives ou proactives optimisés. Cependant, peu de travaux se sont intéressés à la prédiction du comportement et des actions prochaines d'un opérateur humain dans un environnement dynamique de production, du fait du caractère imprévisible et spécifique de chaque opérateur. Il faut donc développer des méthodes permettant de définir des profils d'opérateurs humains dans les ateliers de production et d'induire leur effet sur le fonctionnement du système.
- **Axe 3 – Actions proactives** - Lors de la détection d'une probable perturbation du système de production, plusieurs actions s'offrent aux décideurs pour anticiper l'arrivée de cette perturbation. Ces choix d'actions dépendent principalement de la longueur de période restante pour la mise en place de l'action et aussi de la nature de la perturbation. Nous distinguons trois types d'actions possibles : actions de

maintenance, actions de réorganisation (réordonnancement des tâches et/ou réallocation de ressources) et actions d'accélération de tâches. Dans ce projet, nous allons nous concentrer sur les deux derniers types d'actions qui sont liés au réordonnancement et à l'accélération des tâches. En effet, il faut développer des plans dynamiques de production sur un horizon optimal d'actions, tout en choisissant des méthodes d'optimisation exécutables dans un temps proche du temps réel. De plus, il faut se donner les moyens d'appliquer ces actions en transmettant les informations/ordres nécessaires pour l'exécution des actions correctives ou préventives. De nouvelles méthodes de transmission d'informations notamment aux opérateurs humains vont être développées pour faciliter la compréhension et l'exécution des nouvelles actions telles que l'affichage intelligent des ordres sur des moyens mobiles ou à travers la réalité augmentée.

**Réalisation au 30 avril 2022 :**

Le projet AntiHpert commence en ce début 2022. Nous avons démarré les premières réunions au mois d'octobre et avons établi un plan de travail avec les partenaires. Un cas d'usage est en cours de développement et une première version du simulateur est déjà livrée. Nous avons effectué les démarches de recrutement du doctorant qui a commencé au mois d'avril 2022. Nous avons publié une première conférence qui s'intéresse au effets du comportement humain sur les performances des systèmes de production.

## 7.19 COLIBRY - COLlaborative semantic roBotics for industrY 5

**Partenaires :** chef de file ESIGELEC IRSEEM, partenaires : LINEACT CESI, Université de Rouen Normandie LITIS

**Appel à projet :** Métropole Rouen Normandie – Dispositif Recherche

**Budget global du projet :** 146 578 k€

**Soutien MRN du projet :** 116 189 k€

**Budget CESI du projet :** 70 070 k€

**Lancement du projet :** 1<sup>er</sup> février 2022

**Durée du projet :** 24 mois



### Résumé du projet :

Le projet COLIBRY d'une **durée de 24 mois**, s'inscrit dans les compétences métropolitaines en lien avec **"l'Industrie du Futur"** et **"l'Innovation industrielle"** puisqu'il met les enjeux de la robotique collaborative et du jumeau numérique au cœur de son plan de travail. Le contexte applicatif des ateliers de production flexibles et reconfigurables est ciblé. Un focus plus spécifique sera fait sur des environnements industriels contraints tels que ceux de **l'Industrie Pharmaceutique** et de la **Fabrication Additive** métallique ou par polymères, pour lesquels la robotique, en conjonction avec le jumeau numérique a un intérêt tout particulier.

Nos contributions s'appuieront sur l'utilisation de plusieurs robots (dont les typologies seront différentes : bras articulés, robots mobiles), de leur capacité de perception et de la sémantique des objets présents dans l'environnement industriel pour mettre à jour en temps réel le jumeau numérique.

Les cas d'usage seront définis en concertation étroite avec les industriels de ces secteurs au travers d'un **Comité d'Orientation Industrielle et Technique**. Le LITIS a émis le souhait de participer à ce Comité, les thématiques scientifiques abordées dans le projet étant pour ce laboratoire d'un intérêt majeur.

Le projet s'appuie sur les compétences et champs d'expertise de deux acteurs de la Recherche dans la Métropole Rouen Normandie que sont **l'ESIGELEC IRSEEM** et **LINEACT CESI**. L'ESIGELEC IRSEEM apportera son expérience en expérimentation robotique, perception, synchronisation, calibration et localisation. LINEACT CESI apportera son expérience en robotique pour l'industrie 5.0, en expérimentation, en localisation, en cartographie sémantique et dans le jumeau numérique.

Le projet se décompose en trois modules de travail : le premier intitulé **"Calibration et synchronisation robuste des agents"** aura pour but de s'assurer que les agents soient en mesure de fournir des observations et positions de qualité utilisables pour la coopération inter-agents ; le second **"Cartographie sémantique collaborative pour la mise à jour temps-réel du jumeau numérique"** aura pour but la création et mise à jour d'un jumeau numérique permettant une collaboration inter-agents ; le dernier intitulé **"Expérimentations et évaluations"** aura pour objectif de s'assurer de l'évaluation et de la validation des travaux de recherche réalisés, ceci sur un format de type AGILE avec une temporalité de 3 mois.

Les retombées du projet pour les industriels seront sous la forme de mise à disposition de connaissances, des algorithmes développés et d'un dataset. Pour les laboratoires impliqués dans le projet COLIBRY, les travaux de recherche pourront être ré-utilisés dans le domaine applicatif de l'Industrie 5.0 et pour de la collaboration inter-véhicules (V2X).

