RAPPORT D'ACTIVITES 2023

MARS 2024

HESAM UNIVERSITÉ

Sciences des Métiers de l'Ingénieur

CESI LINEACT

SOMMAIRE

1 LA RECHERCHE A CESI 7

1.1 Organisation 8

1.2 Missions et stratégie 11

2 EQUIPES DE RECHERCHE 12

2.1 Equipe de recherche Apprendre et Innover 13
2.1.1 Moyens mis en œuvre et projets en cours 14
2.1.1.1 Thème Apprendre 14
2.1.1.2 Thème Innover 16
2.1.2 Effectifs 19
2.1.3 Evolution et perspectives de l'équipe 20

2.2 Equipe de recherche Ingénierie et Outils Numériques 21
2.2.1 Bilans, faits marquants et projets en cours 21
2.2.1.1 Thématique "Modélisation, conception et Architecture des CPS" 21
2.2.1.2 Thématique "Interactions Humains systèmes" 22
2.2.1.3 Thématique "Digitalisation et industrialisation de l'acte de construire" 22
2.2.1.4 Thématique "Gestion et décision : Planification, Ordonnancement dynamique et Pilotage" 23
2.2.1.5 Thématique "Pronostic et maintenance prédictive" 24
2.2.1.6 Thématique "Intégration de matériaux et procédés" 25
2.2.1.7 Thématique "Gestion énergétique - Conforts et santé dans le bâtiment" 25
2.2.1.8 Thématique "Gestion des systèmes de transports multimodaux" 26
2.2.1.9 Projets et soutenances 27
2.2.1.10 Publications sélectionnées 29
2.2.2 Effectifs 31
2.2.3 Evolution et perspectives de l'équipe 31

3 L'ENGAGEMENT DEVELOPPEMENT DURABLE ET RESPONSABILITE SOCIETALE (DD&RS) 35

3.1 Notre politique DD&RS 37
3.1.1 Axe 1 : Mobilisation de l'expertise scientifique en appui aux transformations de la société 37
3.1.2 Axe 2 : Une politique rigoureuse de maitrise des impacts de son activité pour se saisir des enjeux environnementaux 37
3.1.3 Axe 3 : CESI LINEACT développe les interactions Science Société avec des actions à destination du monde culturel, économique et social, partage ses

connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société, avec notamment la science ouverte 38
3.1.4 Axe 4 : Une recherche appliquée et intégratrice à la frontière des mondes numériques et physiques au service des spécificités territoriales. 38
3.1.5 Axe 5 : Une approche structurée des valeurs liées à l'intégrité scientifique ...39

3.2 Chaires et thèses CIFRE....40
3.2.1 La Chaire CESI-AVELIS : Construction hors-site, industrialisée, pour l'humain et l'environnement 40
3.2.2 La Chaire CESI- ESSOR : Ville du Futur et Economie circulaire....40
3.2.3 Les thèses CIFRE....41

4 MOYENS MATERIELS.... 42

4.1 Plateforme Industrie du Futur (site de Rouen) 43

4.2 Plateforme Bâtiment du futur (site de Nanterre)....45

4.3 Plateforme Industrie du futur (site de Nanterre)....47

4.4 TIAGO 49

4.5 MICRO LEARNING FACTORIES 50

5 ANNEXE 1 : PUBLICATIONS 51

6 ANNEXE 2 : PROJETS AU SEIN DE CESI LINEACT 58

6.1 JENII - Jumeaux d'Enseignement Numériques, Immersifs et Interactifs 58

6.2 SCOPES- Sémantique Collaborative pour une Perception Evidentielle de Situation....61

6.3 C CARE : Covid Channel Area Response Effort....63

6.4 Label d'excellence Campus des Métiers et des Qualification Aéronautique et Spatial Occitanie 64

6.5 FUSION - Framework for Universal Software Integration in Open Robotics..66

6.6 AntiHpert - Opérateur 4.0 et anticipation dynamique de ses perturbations dans les ateliers de production....68

6.7 Optiman : Optimisation multi-objective d'atelier d'usinage robotisée centrée sur l'humain et basée sur les Jumeaux Numériques....70

6.8 COLIBRY - COLlaborative semantIc roBotics for industRY 5.0....72

6.9 OASIS - robOtics & Artificial intelligence for induStrial rIsk management in hoStile environments 74

6.10 Rouen Mobilités Intelligentes pour tous 76

6.11 ROJUNACO – RObotique et JUmeau Numérique Augmenté pour la COnstruction 79

6.12 Plateforme FAN Polymères....80

6.13 NEXUS 84

6.14 MobE/ Mon Trajet Vert : Accompagnement de la mobilité économe en énergie en faveur du public étudiant 87

6.15 BATTWIN Flexible and scalable Digital Twin Platform for enhanced production efficiency and yield in battery cell production lines 88

6.16 EDLB Ecole de la Batterie 90

6.17 CAIRE 91

CESI LINEACT

LABORATOIRE D'INNOVATION NUMERIQUE POUR LES ENTREPRISES ET LES APPRENTISSAGES AU SERVICE DE LA COMPETITIVITE DES TERRITOIRES

CESI LINEACT (Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires) est le laboratoire du groupe CESI dont les activités sont mises en œuvre sur les 25 campus de CESI.

L'année 2023 a été riche pour CESI LINEACT avec la seconde évaluation de l'unité de recherche par L'Hcéres ; la première évaluation a eu lieu en 2018 et a permis la labellisation de CESI LINEACT en tant qu'Equipe d'Accueil. L'autoévaluation de CESI LINEACT a été remise le 1er juin 2023 et la visite du comité d'experts de l'Hcéres, présidé par le professeur Frédéric Kratz, a eu lieu du 23 au 25 janvier 2024 pour répondre aux questions en suspens. La conseillère scientifique Hcéres Catherine Berrut a accompagné CESI LINEACT tout au long de cette période et a permis à cette expertise de se dérouler dans les meilleures conditions.

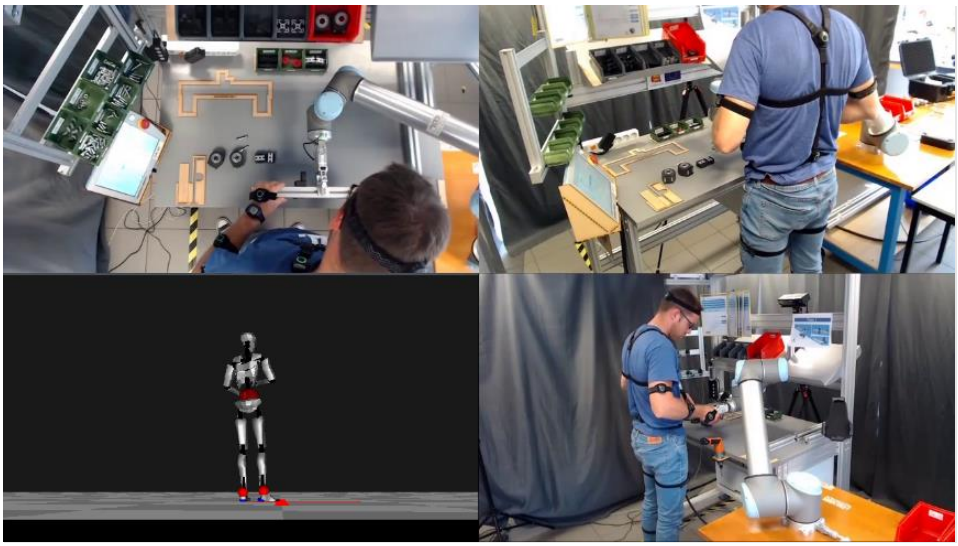
Cet exercice, qui portait à la fois sur le bilan et la trajectoire de l'unité, a également amené CESI LINEACT à restructurer la vision de sa recherche autour de trois axes : une recherche de qualité, avec et pour la société, appliquée et intégratrice à la frontière des mondes numériques et physiques au service des spécificités territoriales.

CESI LINEACT, bien conscient des enjeux environnementaux et sociétaux, a bâti une partie de son positionnement scientifique sur les Objectifs de Développement Durable (ODD) et les enjeux environnementaux : la gestion et l'optimisation énergétique des processus de production, le pilotage thermique des bâtiments, l'IA frugale (données et calculs).

La parité n'est pas en reste avec un laboratoire composé à 40% de femmes, permanents et non-permanents confondus, chiffre bien supérieur à la moyenne nationale. CESI LINEACT a également mis en place une approche reposant sur le volontariat de ses membres afin de participer à la politique nationale de science ouverte avec un résultat de 36% de publications de la période 2017-2022 en accès ouvert sur HAL.

Enfin, le sujet de l'intégrité scientifique, de la déontologie et de l'éthique a également fait l'objet d'une politique proactive : les actions de recherche se sont réalisées sous le couvert et dans le respect des principes éthiques et de déontologie de l'unité énoncés dans sa "Charte française de déontologie des métiers de la recherche CESI LINEACT", qui guide les acteurs de la recherche dans des problématiques telles que les propriétés intellectuelles d'une recherche, le plagiat, la RGPD et la transparence des données et l'intégrité des personnes.

1 LA RECHERCHE A CESI



1.1 ORGANISATION

CESI LINEACT (Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires) est le laboratoire du groupe CESI dont les activités sont mises en œuvre sur ses 25 sites répartis en France, eux-mêmes regroupés en 6 régions. La stratégie de CESI LINEACT est organisée dans ces régions par les 6 RDRI (Responsables de Département Recherche et Innovation).

Il rassemble, au 31 mars 2024, 99 enseignants-chercheurs (dont 16 HDR) et 61 doctorants (dont 7 doctorants internationaux encadrés par des EC CESI), ainsi que 12 ingénieurs de recherche et innovation, 2 cadres administratifs et financiers et 2 assistantes.

L'unité de recherche CESI LINEACT a bâti son positionnement autour des domaines de formation de CESI et conduit en ce sens des activités de recherche au service des domaines de l'industrie, de la ville durable, des services numériques et des formations du futur. L'unité s'est positionnée à l'interface des mondes physiques et numériques avec une approche transdisciplinaire SHS-STIC-Sciences de L'Ingénieur et propose une vision de la recherche appliquée qui place les usages et les utilisateurs des systèmes technologiques au centre de la finalité même de la technologie, qu'elle soit à visée économique, culturelle ou sociétale comme la formation de professionnels ou de futurs professionnels. Une approche centrée sur l'humain et couplée à l'utilisation des technologies, un maillage territorial et les liens avec la formation, ont permis de construire une recherche transversale mettant l'humain, ses besoins et ses usages, au centre de la conception de la recherche et des problématiques de CESI LINEACT.

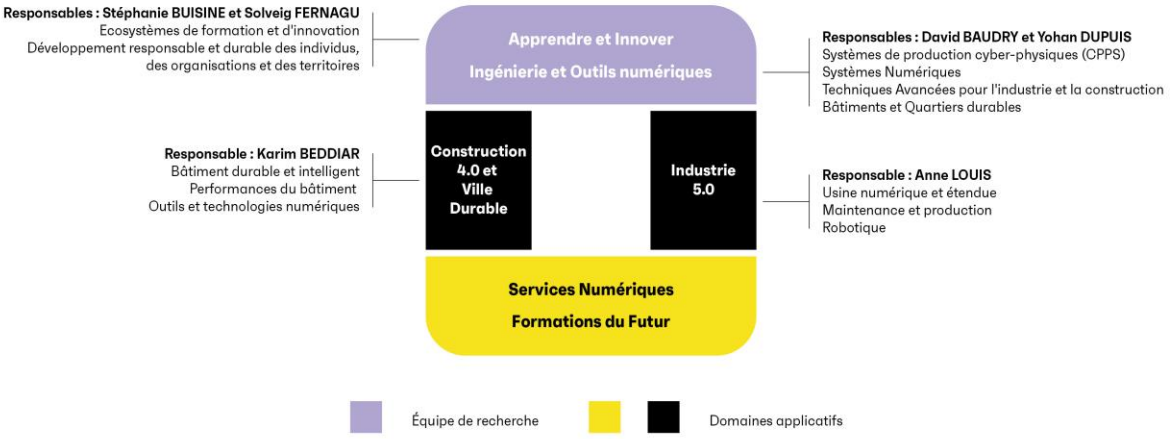
CESI LINEACT accompagne les besoins des dispositifs de formation de CESI au travers de nouvelles méthodologies de formation, de la production de nouvelles connaissances et de leur intégration dans les contenus pédagogiques, dans le développement et l'exploitation des plateformes à usages duaux formation et recherche. L'unité accompagne également les transformations des dispositifs de formation de CESI. Par ailleurs, la proximité historique de CESI avec les entreprises est également un élément déterminant pour les activités de recherche de CESI LINEACT, et l'a conduit à concentrer ses efforts sur une recherche appliquée proche du besoin des entreprises et en partenariat avec celles-ci, tout en restant au service des étudiants de CESI.

La spécificité de CESI LINEACT repose sur sa transversalité et l'organisation de sa recherche en 2 équipes de recherche et 3 domaines applicatifs :

L'équipe 1 « Apprendre et Innover » s'appuie sur les paradigmes des Sciences Humaines, Sociales et de Gestion pour étudier l'objet technologique et organisationnel, son impact sur les processus d'apprentissage et d'innovation, et ses retombées sur le développement des individus, des entreprises et des territoires. La thématique Apprendre porte des enjeux spécifiques pour le développement des contenus et modalités de formation du futur, au cœur de la stratégie de CESI. La thématique Innover est davantage tournée vers les entreprises partenaires de CESI, afin d'accompagner celles-ci dans les défis industriels, environnementaux et économiques qu'elles rencontrent.

L'équipe 2 « Ingénierie et outils numériques » regroupe des compétences dans les domaines des sciences du numérique et des sciences de l'ingénieur. Ses principaux objectifs scientifiques portent sur la modélisation et l'optimisation de systèmes, les interactions humains-systèmes, ainsi que sur l'analyse de données et les processus de décision appliqués principalement aux trois domaines d'application que sont la Ville du Futur, l'Industrie du Futur et les Services Numériques. Ils permettent de croiser les compétences métiers indispensables à la mise en œuvre de nos projets autour de nos thématiques scientifiques, et répondent aux grands défis que sont les transitions durable et numérique de nos sociétés.

Les deux équipes développent et croisent leurs recherches dans les 4 domaines applicatifs de l'Industrie 5.0, la Construction 4.0 et ville durable, ainsi que des formations du Futur et des Services numériques.



Trois plateformes de recherche et de transfert, dont la taille, le volume d'activités et la duplication numérique leur permettent de rayonner sur tous les campus de CESI, viennent soutenir l'ensemble des travaux de CESI LINEACT : deux sont consacrées à l'usine du futur sur les campus de Rouen et Nanterre, et une au bâtiment du futur sur le campus de Nanterre.

L'organigramme de la recherche est le suivant :

DIRECTION NATIONALE DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION

Bélahcène MAZARI

ASSISTANTE DE DIRECTION

Christine TSAFACK

RESPONSABLE ADMINISTRATIF RECHERCHE

Chantal HURARD

2 ÉQUIPES DE RECHERCHE
4 GRANDS DOMAINES APPLICATIFS

Équipe de recherche
Apprendre & Innover
Dirigée par Solveig FERNAGU et Stéphanie BUISINE

Équipe de recherche
Ingénierie et outils numériques
Dirigée par David BAUDRY et Yohan DUPUIS

CHARGÉE DE GESTION PROGRAMMES DE RECHERCHE

Camille FRANCESCHI

Domaine d'application
Construction 4.0 et Ville Durable

Domaine d'application
Industrie 5.0
Dirigé par Anne LOUIS

Domaines d'application
Services Numériques
Formations du Futur

DÉCLINAISON DE LA RECHERCHE DANS LES RÉGIONS EN COHÉRENCE AVEC LA STRATÉGIE NATIONALE

Région Nord Ouest	Région Ile de France	Région Est	Région Sud Ouest	Région Ouest	Région Sud Est
Anne LOUIS	Jean-Daniel PENOT	Mourad ZGHAL	Céline VIAZZI	Karim BEDDIAR	David GARCIA

Les trois plateformes de recherche et de transfert “Industrie du futur” et “Bâtiment du futur” permettent à la recherche de s’y déployer et de s'adosser à la pédagogie. 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.

La première plateforme remarquable de recherche et de transfert “Usine du Futur” est située à Rouen, et 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 5.0 est traité essentiellement au niveau de l’usine.

La 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 des expérimentations, des séances de créativité, des travaux pratiques et des travaux de recherche et d’innovation. Cette plateforme se veut le démonstrateur des activités Recherche et Innovation de CESI dans le domaine de la Construction 4.0 et Ville durable, 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) - nommée UAFAM. La construction du démonstrateur a démarré en décembre 2018. Mis en fonction complète en juin 2019, il prend place au sein du domaine Industrie 5.0 et complète les ateliers de prototypage de type FabLab, appelés Lab’CESI et structurés avec notamment un LabManager. Ces Lab’CESI sont présents sur l’ensemble des campus CESI abritant les formations d’ingénieurs et ils comprennent notamment des machines de découpe laser et Impression 3D en FDM.

Enfin, initiées dans le cadre du projet DEFI&Co, les plateformes Micro Learning Factories (MLFs) ont été déployées sur l'ensemble des campus CESI abritant les formations d’ingénieurs.

1.2 MISSIONS ET STRATEGIE

CESI LINEACT accompagne les besoins des dispositifs de formation de CESI au travers de nouvelles méthodologies de formation, la production de nouvelles connaissances et leur intégration dans les contenus pédagogiques, dans le développement et l'exploitation des plateformes à usages duaux formation et recherche. L'unité accompagne également les transformations des dispositifs de formation de CESI qui induisent notamment une augmentation significative de l'intervention d'enseignants-chercheurs.

Plus spécifiquement, les missions de CESI LINEACT sont au nombre de 6 :

1. Production scientifique et diffusion des connaissances,
2. Contribution aux évolutions des formations,
3. Conception & exploitation des plateformes technologiques,
4. Collaboration R&D, valorisation et transfert,
5. Projets partenariaux,
6. Prestations personnalisées.

Les effectifs de CESI LINEACT sont, à nouveau, amenés à croitre fortement d'ici 2025.

CESI LINEACT a décliné une stratégie scientifique basée sur la précédente évaluation Hceres qui lui a permis de répondre de manière intégrée au triptyque d'exigences issues :

- Des domaines de formation et évolutions des compétences et métiers d'avenir,
- Des recommandations de l'HCERES formulée en 2019,
- D'unité « sans murs » présente sur l'ensemble du territoire avec une forte croissance des effectifs.

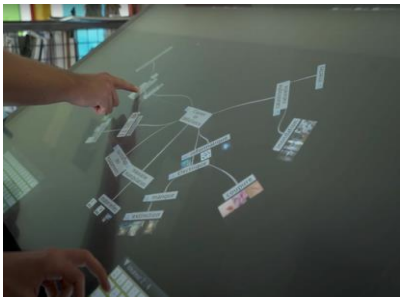
L'unité a structuré sa vision pour 2030 autour de 3 axes :

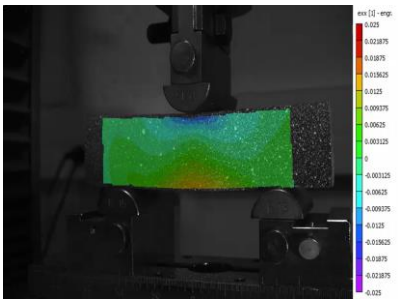
- Axe 1 : une recherche de qualité, au service de la formation et proche des territoires,
- Axe 2 : une recherche avec et pour la société, consciente des nouveaux enjeux sociétaux et environnementaux,
- Axe 3 : une recherche appliquée et intégratrice à la frontière des mondes numériques et physiques au service des spécificités territoriales.

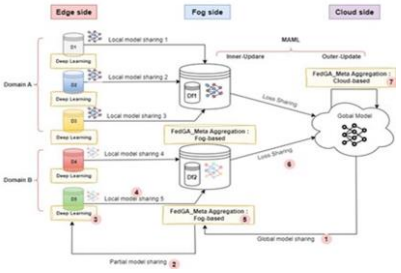
Chacun de ces axes a fait et fera l'objet d'actions spécifiques au service de la dynamique et des ambitions de recherche de l'unité.

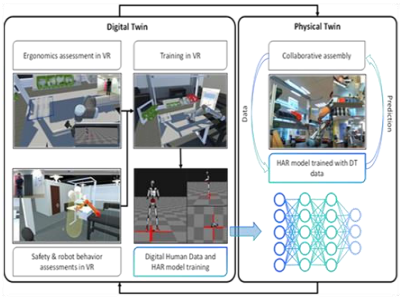
Les équipes de recherche portent le positionnement scientifique à l'intérieur des domaines définis par l'unité et dans cette logique les sujets liés au bilan et à la trajectoire scientifique de l'unité sont détaillés dans les équipes ci-dessous. CESI LINEACT s'est également approprié les recommandations de l'Hceres portant sur sa structuration sans mur à l'échelle nationale, son pyramidage scientifique et son rayonnement dans l'espace national et européen de recherche.

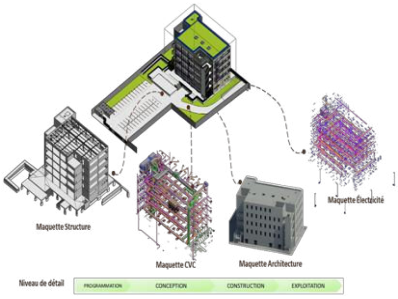
2 EQUIPES DE RECHERCHE

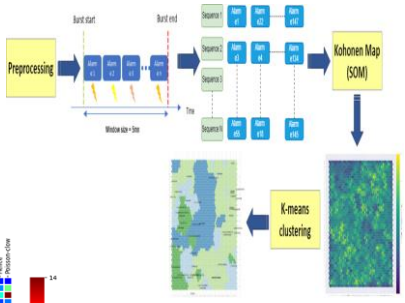


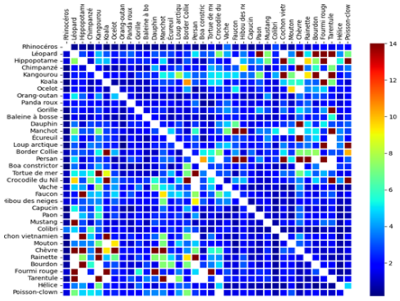












2.1 Equipe de recherche Apprendre et Innover

Apprendre et Innover sont deux besoins fondamentaux des sociétés modernes. La finalité des recherches de l'équipe est de produire des connaissances sur les écosystèmes d'apprentissage et d'innovation pour une expérience et un développement responsable et durable des individus, des organisations et des territoires.

Fin 2023, l'équipe Apprendre et Innover est constituée de 14 Enseignants-chercheurs, dont 4 HDR, 1 Directeur de Recherche émérite et 15 doctorants. Dans la période 2017-2023, 8 thèses ont été soutenues dans l'équipe.

La figure ci-dessous présente la structuration de l'approche scientifique de l'équipe. Elle met en valeur le paradigme interactionniste dans lequel s'inscrivent l'ensemble des 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.

Notre finalité : produire des connaissances sur les écosystèmes d'apprentissage et d'innovation pour une expérience et un développement responsable des indicidus, des organisations et des territoires.

La structuration de l'équipe lui permet d'analyser ces interactions de manière pluridimensionnelle. En effet, celles-ci peuvent être considérées 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).

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. Nous adoptons pour l'ensemble de nos recherches un cadre éthique commun de développement responsable et/ou durable.

Thème Apprendre

"Apprendre relève d'une expérience transformative qui fait référence à un ensemble de processus cognitifs, affectifs, métacognitifs et sociaux qui aident ou non à apprendre, agissent comme des leviers ou des freins à l'apprentissage, et rendent l'expérience d'apprentissage extrêmement singulière, située et contextualisée" (Rapport HCERES, LINEACT 2023).

La perspective épistémologique de l'équipe est non seulement interactionniste mais également socio-constructiviste et énactive. En effet, si tout apprentissage relève d'une démarche d'appropriation personnelle, il ne se réalise qu'au regard du milieu, de l'environnement et de la situation dans lequel il prend forme et est transféré. Ainsi, lorsque l'on étudie les écosystèmes d'apprentissage, il est possible de les regarder de différentes manières : du point de vue des apprenants qui apprennent, des formateurs qui aident à apprendre, des dispositifs de formation qui soutiennent les démarches, les processus et les modalités de l'apprentissage, ou encore du point de vue de leurs relations réciproques - et donc des configurations qui découlent de leurs interactions. Ces trois points de vue permettent d'étudier, de manière interreliée et dépendante, des pratiques pédagogiques, d'enseignement et d'apprentissage dans une diversité d'environnements d'apprentissage (formels, informels, ancrés dans le travail ou dans la formation, professionnels ou didactiques, technologiques ou non, etc.). Nous nous intéressons tout particulièrement aux conditions de l'apprentissage, à la mise en capacité à apprendre, au design capacitant des dispositifs, des environnements et des situations, à ce qui fait frein ou levier aux apprentissages.

Thème Innover

Innover consiste à faire se rencontrer l'invention et l'adoption. L'invention est la mise au point d'une solution nouvelle, qu'il s'agisse d'un bien matériel, d'un service, d'un procédé technologique ou non-technologique – que celle-ci soit nouvelle pour le monde, pour le secteur ou seulement pour l'entreprise. L'adoption quant à elle, requiert que l'invention soit mise en œuvre, validée par celles et ceux à qui elle est destinée : adoption par le marché, par les collaborateurs dans le cas d'une innovation au sein de l'entreprise, diffusion par voie commerciale ou non, introduction dans la pratique sociale... Nos recherches portent donc sur ces deux composantes, l'invention et l'adoption.

Nous travaillons en outre sur le sens de l'innovation. L'innovation est à la fois un processus et un résultat, mais elle ne porte pas en soi de finalité. La formalisation de l'innovation en tant que concept technique, économique et politique, en tant qu'objet d'étude et problématique scientifique, date du début du 20ème siècle et des travaux de l'économiste Joseph Schumpeter. Compte tenu de son ancrage historique et culturel, l'innovation a initialement été pensée en termes économiques et tournée vers la croissance, le profit. Il s'agit toujours de la vision dominante à l'heure actuelle (OECD, 2018). Avec l'évolution des sociétés, l'innovation s'est cependant diversifiée : innovation sociale, humaniste, responsable, durable. C'est dans cette lignée développementale que nos travaux de recherche s'inscrivent.

2.1.1 Moyens mis en œuvre et projets en cours

2.1.1.1 Thème Apprendre

2.1.1.1.1 Actions initiées avant 2023

DEFI&Co

Ce projet s'est terminé en septembre 2022 (2017-2022). 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.

Pour rappel, ce projet a permis de déployer et développer des lab'CESI et des Créativ Lab.

EVAL ACP

Ce projet financé par la région Occitanie s'est terminé en mai 2022 (2021-2022). Il 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 a permis de formaliser des aptitudes prioritaires (enquêtes documentaire et empirique) susceptibles de soutenir le développement de l'employabilité des apprenants et de construire une échelle de mesure unique en son genre en assemblant des échelles existantes, avérées et robustes, et dont la robustesse a été testée auprès de plus de 500 étudiants. Une grille d'auto-positionnement est née de ce travail et permet aux étudiants et élèves de se positionner au cours de leur formation. Soit l'on considère ces échelles comme un résultat visé par la formation, soit comme des prérequis. Dans tous les cas, elle nécessite, du côté de la formation, d'apporter des remédiations en cas de besoin. Un projet de recherche dans la continuité de ce dernier est en cours de réflexion et visera à identifier au sein de CESI, les situations pédagogiques prototypiques permettant de mobiliser ou développer les aptitudes et comportements professionnels visés.

BQR

La collaboration avec le CIRNEF de Rouen dans le cadre d'un appel à projet ILSAI (non retenu – projet sur les agents conversationnels et tuteurs interactifs) a débouché sur un projet BQR qui a permis de comparer différents environnements d'apprentissage, d'apprécier et de comparer leurs effets sur les apprentissages. C'est le module de performance industrielle qui a été analysé dans trois types d'environnements : physique, virtuel et hybride.

Le travail de formalisation des résultats est en cours avec un projet de publication.

2.1.1.1.2 Actions initiées en 2023

Pédagogie de l'alternance

Cette recherche (2022-2022) financée et commanditée par l'Observatoire des Compétences de la métallurgie visait 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).

Livrables: état de l'art de la pédagogie de l'alternance, guide pratique de la pédagogie de l'alternance, synthèse communiquante, disponibles à https://www.observatoire-metallurgie.fr/analyses-previsions/pedagogie-de-lalternance

Prolongements:

Communications auprès d'instances institutionnelles (Colloque annuel des IT2i, Colloque Excellence Pro, Séminaire Acteurs de la compétence, etc.) et académiques (RUMEF 2023; Inspé Dijon). Demandes en cours: Réseau Canopé, Inspection académique Bourgogne Franche Comté, CFA Bretagne Enseignement catholique, CFA IT2i Brest, FNADIR Pays de Loire, etc.

Impact: la DGSIP a confié au thème un travail d'expertise sur les résultats d'un groupe de travail concernant les indicateurs qualité de l'alternance (en cours)

2.1.1.1.3 Actions en cours

JENII

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 l'équipe 2.

Le thème Apprendre est responsable du WP1 de ce projet. En collaboration avec des représentants de chacun des membres du consortium, il a travaillé à l'élaboration de la V1 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 ? etc.

Livrables : Livre Blanc des jumeaux numériques pour apprendre et enseigner (V1)

Prolongements : plusieurs communications ont pu être réalisées pour promouvoir le projet (AREF Lausanne; Séminaire NEA Université Nice Côte d'Azur), participation à un atelier de travail ANR (Journée de l'AMI DEMOEs organisé par l'ANR, https://evenement.anr.fr/demoes-2023)

2.1.1.1.4 Actions futures

PEDAGOGIE DE L'ALTERNANCE

CESI et CESI LINEACT vont organiser un colloque international à Lyon sur les pédagogies de l'alternance dans l'enseignement supérieur qui se déroulera en 2024.

JENII

Analyse des retours d'expérience des porteurs de projets pour une V2 du livre blanc et conception d'une formation de formateur.

CENTRE INFFO

Prise de contact avec le Centre Inffo qui souhaite développer un Lab R&D. Ce Lab aura pour mission de valoriser des travaux de recherche facilitant la compréhension des changements sociétaux et ceux impactant directement les acteurs de la formation. Il a pour objectif de rapprocher les différents acteurs (décideurs, financeurs, praticiens et chercheurs) en stimulant les échanges de points de vue et de pratiques.

2.1.1.2 Thème Innover

Les recherches se structurent autour de deux problématiques qui portent sur 'invention et sens' et 'adoption et sens'.

Invention et sens

Cette problématique amène notamment à étudier le processus de créativité à l'origine de l'invention. Conformément à l'approche interactionniste de notre équipe, nous cherchons à concevoir et évaluer les déterminants situationnels de l'innovation, et en particulier l'environnement technologique, méthodologique et stratégique :

Environnement technologique et méthodologique :

Nous concevons des dispositifs en réalité virtuelle en nous appuyant sur des modèles sociocognitifs (effet Proteus, théorie de l'auto-perception, théorie de l'identité sociale, mémoire transactive...). S'inscrivant dans une importante lignée de recherche de l'équipe, plusieurs projets de recherche se poursuivent sur ces sujets :

Projets poursuivis en 2023 :

- Thèse de Thibaut Batal (2021-2024) sur les environnements technologiques de créativité,
- Thèse d'Anna Martin Coesel (2022-2025) sur l'effet Proteus,
- Thèse de Pierre Bondesan (2022-2025) sur les Jumeaux Numériques dans le cadre du Projet JENII PIA4,

- Thèse d'Alisa Barkar (2022-2025) sur les modèles d'attention multimodale, en partenariat avec Télécom Paris et dans le cadre du projet ANR Revitalise.

Projets démarrés en 2023 :

- Thèse de Tristan Lannuzel (2023-2026) sur l'intelligence collective en environnement virtuel, dans le cadre du projet NEXUS DEFFINUM
- Projet NEXUS, lauréat de l'appel à projets national DEFFINUM, qui vise la création d'un métaverse open source pour la formation, en partenariat avec l'Immersive Learning Lab de Nantes Université, Alstom, Arts et Métiers et UniLaSalle.
- PEPR eNSEMBLE (Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche, financé par l'ANR) dont l'objectif est de "redéfinir en profondeur les outils collaboratifs numériques". Co-piloté par l'Université Paris-Saclay, l'Université Grenoble Alpes, l'INRIA et le CNRS, le PEPR regroupe plus de 50 laboratoires français pour une durée de 7 ans (2023-2030).

Environnement stratégique :

La stratégie permet d'introduire explicitement le sens dans l'invention. Nos travaux s'inscrivent dans une stratégie d'innovation tournée vers les besoins humains (stratégie Need-Seeker), par opposition aux stratégies poussées par la technologie ou tirées par le marché. Cette stratégie étant sous-représentée en France, nous développons des méthodes pour en structurer l'usage : paradigmes de création, de découverte de besoins futurs, et de redécouverte des besoins fondamentaux.

Projet achevé en 2023 :

- Thèse de Mégane Sartore (2020-2023), projet CIFRE avec la SNCF dans le cadre de la Chaire Robotics by Design. L'objectif était de concevoir des systèmes robotisés pour la maintenance ferroviaire répondant aux besoins motivationnels des agents, au-delà de leurs besoins fonctionnels. Thèse soutenue le 12 juillet 2023.
-

La robotique ikigaï:
Un levier majeur d'engagement, garant d'une haute performance industrielle

Mégane Sartore
Sous la direction de
Stéphanie Buisine (CESI), Ioana Ocnarescu (Strate), Louis-Romain Joly (SNCF)

L'un des freins au développement de l'industrie 4.0 est que la robotisation éloigne parfois les opérateurs du sens du travail. Dans cette thèse, nous cherchons comment concevoir des outils robotiques qui augmentent à la fois la performance et l'engagement, ce qui est désigné sous le terme de Robotique Ikigaï. L'ikigaï est une philosophie de vie japonaise reposant sur la raison d'être de chacun, ce qui fait que notre vie vaut la peine d'être vécue. Ce concept évoque certaines théories de la psychologie contemporaine, sans que ces liens n'aient été formalisés dans la littérature scientifique. Nous proposons donc une modélisation de l'ikigaï comme un processus motivationnel en nous appuyant principalement sur la théorie de l'autodétermination (Deci et Ryan, 2000), de la pleine conscience (Mindfulness ; Ryan et al., 2008), du bien-être (PERMA; Seligman, 2011), du sens et de l'engagement au travail (Steiger et al., 2012 ; Schaufeli et al., 2002). Nous proposons également un outil de mesure de l'ikigaï en contexte professionnel sous forme de questionnaire composé d'échelles standardisées de la littérature. Pour aller plus loin dans l'évaluation de l'ikigaï, nous ouvrons également des perspectives d'évaluation graphique, pour une évaluation plus rapide et visuelle. Le modèle théorique, ainsi que le questionnaire, ont été testés auprès d'un échantillon de 321 personnes issues de la population active française. Ces travaux sont ensuite appliqués au domaine de la robotique industrielle et de service, et plus précisément à la maintenance ferroviaire SNCF. Une étude de terrain est menée afin de qualifier et quantifier l'ikigaï des agents de maintenance SNCF, ainsi que d'identifier ses déterminants. Enfin, nous proposons la conception d'un outillage d'inspection de toiture de train répondant, en plus des besoins fonctionnels, aux besoins motivationnels des agents SNCF. Ce cas d'étude vise à fournir à la fois un nouvel outillage, une nouvelle approche de conception, mais aussi une preuve de concept de la Robotique Ikigaï.

Projet poursuivi en 2023 :

- Thèse de Gaëtan Savarit (2021-2024) sur la viabilité des approches LivingLabs pour stimuler l'innovation au plus proche des citoyens, dans le cadre du PIA TIGA 'Rouen mobilité pour tous'.

Projets démarrés en 2023 :

- Thèse d'Anna Balaïan (2023-2026) sur l'interaction entre véhicule autonome et usagers à besoins spécifiques, dans le cadre d'un partenariat avec VEDECOM et du projet ANR-SYDEA.
- Thèse de Wanji Li (2023-2026) sur les déterminants motivationnels de la mobilité étudiante et la prospective sur les transports du futur, dans le cadre du projet MobE.

Adoption et sens

La seconde méta-problématique que nous traitons porte sur la sélection, la diffusion et l'adoption de l'innovation. Nous étudions pour cela les déterminants stratégiques, culturels et sociaux de l'innovation, y compris l'innovation organisationnelle.

Environnement stratégique : nous étudions l'influence des caractéristiques stratégiques des entreprises sur le processus d'innovation, notamment à travers le prisme de l'adoption des pratiques d'innovation ouverte, et dans l'objectif de favoriser la résilience des entreprises, en particulier des PME.

Projets poursuivis en 2023 :

- Projet C-CARE (Covid Channel Area Response Exchange), dont l'objectif 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, l'innovation de Business Model est envisagée pour répondre aux changements du marché et aux nouveaux comportements des clients, tout en assurant une reprise économique verte, inclusive et durable.
- L'adaptation à un contexte de crise permanente fait écho aux modèles développementaux que nous utilisons dans nos recherches sur la transformation organisationnelle. Dans le cadre de la Chaire CESI-Avelis, nous avons mené une étude visant à identifier les leviers de développement de la responsabilité sociétale de l'entreprise.

Environnement culturel : au-delà des stratégies et processus formalisés, nous cherchons à caractériser l'impact de la culture organisationnelle sur l'innovation et sur la transformation des entreprises, afin de favoriser l'alignement des pratiques et des valeurs (congruence organisationnelle, théorie de l'engagement).

Projet démarré en 2023 :

- Thèse de Lola Joly (2023-2026), dans le cadre du projet MobE. L'un des axes originaux du projet MobE porte sur l'analyse et la compréhension des leviers culturels et organisationnels de la mobilité des étudiants et l'identification des transformations à opérer par les établissements d'enseignement supérieur pour favoriser l'adoption de modes de déplacement économes en énergie. Nous cherchons à déterminer si les établissements d'enseignement supérieur exercent une influence implicite sur les choix de mobilité des étudiants, via leurs valeurs, leurs pratiques et plus généralement leur culture, au-delà des questions d'implantation géographique et d'infrastructure de transport. Nous nous intéresserons à la culture organisationnelle des établissements, aux cultures individuelles des étudiants et aux facteurs de congruence entre celles-ci. L'ensemble sera modélisé sur la base de méthodes d'enquête et de fouille de données afin d'identifier de potentiels leviers de transformation pour faire évoluer la culture des établissements d'enseignement supérieur dans le sens (1) d'une plus forte congruence avec les valeurs des étudiants et (2) d'une culture de la mobilité responsable. Enfin, un protocole de transformation sera conçu sur la base de ces résultats et dans le cadre de la théorie de l'engagement, afin de compléter les mesures de sensibilisation préconisées au niveau ministériel.

Environnement social : en matière d'innovation organisationnelle, nos travaux s'inscrivent dans une approche développementale tournée vers l'engagement et le sens du travail (autodétermination, leadership transformationnel).

Projet poursuivi en 2023 :

- Thèse de Lisa Gaudens (2021-2025), avec la Division Production Nucléaire d'EDF : nous étudions l'articulation des enjeux individuels et organisationnels de l'engagement et de la performance. En particulier, nous nous attachons à concevoir et diffuser une approche transformationnelle du management des compétences, ou auto-management des compétences. Nous sommes amenés pour cela à étudier l'autodétermination au travail, la perception de chacun du sens de son travail, et son niveau de satisfaction des besoins fondamentaux (besoin d'autonomie, de compétence et d'affiliation).

Projet démarré en 2023 :

- Thèse de Manon Jouanjus (2023-2026), avec EDF et en partenariat avec l'Université de Bordeaux. Une centrale nucléaire requiert une organisation très structurée, en raison de la non-flexibilité de l'outil de production et des enjeux colossaux en matière de sûreté et de sécurité. Dans cette organisation pyramidale, le management dit 'intermédiaire' a un rôle particulièrement complexe et susceptible d'engendrer des injonctions paradoxales et des dissonances. L'objectif de ce projet est d'analyser ces mécanismes afin de les lever et de contribuer à la transformation de l'organisation.

Perspectives

Notre trajectoire à moyen et long terme vise à poursuivre notre ambition de redéfinir l'innovation, en dépassant une vision purement économique pour y intégrer le sens et la notion d'impact. Nous défendons une position dans laquelle l'innovation n'est pas une fin en soi, la recherche de croissance, et *a fortiori* de profit, doit être dépassée pour poursuivre des buts plus élevés, positifs, et durables.

Nous nous appuyons pour cela sur les possibilités offertes par notre environnement :

- Contexte global de crise protéiforme : cette contrainte peut être interprétée comme une opportunité pour développer nos recherches vers davantage d'innovation positive et de résilience.
- Accentuation du besoin sociétal : prise de conscience de la nécessité d'un changement de paradigme à différents niveaux, et notamment dans les usages, les services, l'habitat, la mobilité, le travail...
- Accentuation du besoin industriel : ce point s'observe très clairement dans les demandes qui nous parviennent de nos partenaires industriels et dans l'intérêt que suscitent nos travaux actuels et notre ambition.
- Besoin de formation sur ces sujets critiques pour l'avenir : vision alternative de l'innovation, anticipation et prise en compte de l'impact, prospective à long terme, transformation des organisations.

2.1.2 Effectifs

Recrutements 2023 :

- Marion Paggetti
- Deux nouveaux EC en Sciences de Gestion nous ont rejoints en 2023, Mehdi Ben Abdelhamid et Soufiane Kherrazi. Ces recrutements s'inscrivent dans notre volonté de renforcer notre approche pluridisciplinaire de l'innovation.

Responsables de l'équipe	**Stéphanie BUISINE, HDR** **Solveig FERNAGU, HDR**
Enseignant chercheur émérite	**Bernard BLANDIN, HDR**
Enseignants-chercheurs	Mehdi BEN ABDELHAMID Andréa BOISADAN Béatrice BIANCARDI Lucie CUVELIER Muriel DAVIES **Imène GUETAT, HDR** Soufiane KHERRAZI Marion PAGGETTI Elodie PILLON Yann SERREAU Jean-Marc VASNIER Céline VIAZZI
Doctorants	Anna BALAIAN

	Thibaut BATAL Alisa BARKAR Marie BLUTEAU Pierre BONDESAN Cédric FACON Lisa GAUDENS Sarah GUEZ Lola JOLY Manon JOUANJUS Tristan LANNUZEL Wanji LI Anna MARTIN COESEL Mégane SARTORE Gaëtan SAVARIT

2.1.3 Evolution et perspectives de l'équipe

L'équipe Apprendre et Innover porte des sujets stratégiques pour CESI Ecole d'ingénieurs, et souhaite dans l'avenir confirmer et renforcer son positionnement différenciant :

- Le fait qu'un établissement d'enseignement supérieur développe de la connaissance et de l'innovation sur son cœur d'activité, la formation, est une grande force pour son efficience au quotidien et pour son développement futur. En cela, les recherches sur le **Thème Apprendre** constituent une des clés du succès de l'établissement pour contribuer à répondre aux besoins de formation de la société et à la création des métiers du futur. Les ressources et projets en cours et à venir permettront de poursuivre cette trajectoire.
- Au travers des recherches sur le **Thème Innover**, et de leur transfert vers la pédagogie, nous souhaitons renforcer le potentiel des élèves ingénieurs, et plus largement des étudiants de CESI, à répondre aux défis industriels, environnementaux ou économiques qu'ils pourront rencontrer dans leurs entreprises et dans leur carrière. Les membres de l'équipe coordonnent l'ensemble des modules de formation à l'innovation et à l'entrepreneuriat, de manière intégrée, touchant tous les niveaux de formation de Bac à Bac+6 avec une progression pédagogique structurée, et un renouvellement régulier des contenus afin de rester en phase avec les évolutions des besoins sociétaux.
- L'équipe a aussi pour vocation de promouvoir et d'incarner les **Sciences Humaines, Sociales et de Gestion** au sein de CESI, afin de développer l'ouverture scientifique de ses équipes et de ses étudiants. Nous souhaitons continuer à porter avec force une vision alternative sur les sujets technologiques, incluant notamment les dimensions ergonomiques, cognitives, sociales ou managériales.
- Le fait que l'équipe alimente la pluralité des points de vue disciplinaires en interne à LINEACT permet un dialogue plus pointu entre les expertises autour du sujet technologique. Ce dialogue scientifique et cette stimulation mutuelle entre les approches technologiques et humaines s'amplifie dans le cadre des **projets de recherche transverses**, impliquant les deux équipes de l'unité. En outre, la pluridisciplinarité interne à l'unité est un levier pour la pluridisciplinarité externe, pour l'intégration et la contribution de l'unité à des consortia pluridisciplinaires dans le cadre de projets collaboratifs. Nous souhaitons ainsi développer encore davantage de projets de recherche tranverses aux deux équipes.

2.2 EQUIPE DE RECHERCHE INGENIERIE ET OUTILS NUMERIQUES

L'équipe 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 Humains-systèmes dans ces systèmes cyber-physiques. Ces thématiques de recherche, identifiées à partir des besoins industriels, s'inscrivent dans les domaines applicatifs ciblés par CESI LINEACT que sont l'Industrie du futur, la Ville du futur et les services numériques.

L'équipe traitent de problématiques variées, telles que :

- L'analyse et l'optimisation de la performance de bâtiments,
- La simulation et l'optimisation de systèmes de production flexibles,
- Le développement d'outils d'aide à la décision pour la production, maintenance ou mobilité,
- L'intégration de l'Intelligence Artificielle (IA) pour la mise à jour du jumeau numérique de l'environnement et l'interaction humains-systèmes,
- La conception de framework logiciel pour les jumeaux numériques interfacés en réalité augmentée et en réalité virtuelle,
- L'étude d'architecture et l'évaluation de systèmes cyber-physiques,
- L'intégration de matériaux et procédés.

Ces travaux sont développés dans le cadre de 8 thématiques de recherche :

- Thématique "Modélisation, conception et Architecture des CPS"
- Thématique "Interactions Humains systèmes"
- Thématique "Digitalisation et industrialisation de l'acte de construire"
- Thématique "Gestion et décision : Planification, Ordonnancement dynamique et Pilotage"
- Thématique "Pronostic et maintenance prédictive"
- Thématique "Intégration de matériaux et procédés"
- Thématique "Gestion énergétique - Conforts et santé dans le bâtiment"
- Thématique "Gestion des systèmes de transports multimodaux"

2.2.1 Bilans, faits marquants et projets en cours

Nous présentons ci-après le bilan et des exemples de travaux publiés sur la période du présent rapport sur nos différentes thématiques de recherche.

2.2.1.1 Thématique "Modélisation, conception et Architecture des CPS"

Des avancées notables ont marqué les activités de la thématique CPS au cours de l'année écoulée, avec notamment la soutenance de deux thèses en collaboration avec l'Université de Blida, portant sur les protocoles de sécurité pour les IoT et l'intégration de la blockchain dans les smart cities. Ces travaux ont abouti à six publications dans des revues de rang Q1 et à neuf présentations lors de conférences de renom. Par ailleurs, trois nouvelles thèses ont été initiées, axées sur le routage sécurisé, l'application de la blockchain dans les CPS, et le federated learning. L'encadrement de stagiaires sur ces thématiques a également renforcé nos activités de recherche. De plus, des collaborations enrichissantes ont été établies avec l'Université Concordia à Montréal, l'IRIT à Toulouse, et l'Université de Ain Temouchent. L'animateur de la thématique a aussi été sollicité pour intervenir lors de conférences internationales telles que CRISIS et DiCE.

Parmi les publications marquant ces collaborations internationales, nous citons :

- (Benaribi et al., 2023) Ce travail propose un cadre basé sur SPARQL pour préserver la confidentialité des données sensibles sur le web sémantique. Il garantit que les requêtes SPARQL ne révèlent pas d'informations sensibles, même lorsque des adversaires peuvent déduire des

informations à partir de données publiques, ce qui est essentiel pour des applications nécessitant un haut niveau de confidentialité tout en exploitant le web sémantique.

- (Zerrouki et al., 2023) Cet article présente un protocole d'authentification mutuelle et d'établissement de clé de session basé sur les Physical Unclonable Functions (PUF) pour les dispositifs IoT. Ce protocole est conçu pour répondre aux besoins spécifiques de sécurité des environnements IoT, où les ressources sont limitées et où la sécurité doit être à la fois légère et robuste. Il démontre une amélioration significative en termes de sécurité et d'efficacité par rapport aux méthodes existantes.
- (Alshalalfah et al., 2023) Cette publication propose un cadre pour la modélisation et l'analyse des systèmes cyber-physiques en utilisant la vérification statistique de modèles. Ce cadre permet de gérer les incertitudes inhérentes aux CPS en combinant la vérification formelle avec des techniques de simulation statistique, offrant ainsi une méthode puissante pour garantir la fiabilité et la sécurité de ces systèmes complexes.

2.2.1.2 Thématique “Interactions Humains systèmes”

Les faits marquants de la thématique “Interactions Humains systèmes” (IHS) pour l’année 2023 sont les suivants. Tout d’abord, deux soutenances de thèse ont été réalisées. La première en mai par Barbara Schiavi porte sur la définition de modèles et d’outils pour l'édition et la simulation de procédures métier dans les projets de constructions couplant BIM, réalité virtuelle et bases de connaissances. Cette thèse a été réalisée en collaboration avec VINCI Construction France grâce au dispositif CIFRE. La seconde thèse est celle soutenue par Corentin Coupry, intitulée « Approche mixte RV/RA pour le suivi et l’optimisation de la performance en exploitation de bâtiments intelligents ». Par ailleurs, 8 doctorats sont en cours au sein de la thématique. En outre, les recrutements dans les diverses régions ont permis d’intégrer 1 nouvelle enseignante-chercheuse et 2 nouveaux enseignants-chercheurs dans la thématique IHS. En ce qui concerne les principales publications de 2023, nous pouvons citer les suivantes :

- (Feddoul et al., 2023) présentent une revue de littérature systématique sur le jumeau numérique (JN) interfacé en XR (eXtended Reality) dans un contexte de robotique au sein de l’industrie 4.0. Les auteurs analysent : les cas d’usages en industrie manufacturière du JNXR an fonction du type d’activité réalisée, les interfaces privilégiées pour les interactions entre JN et robotiques, les interactions entre jumeau numérique et jumeau physique. Enfin les auteurs proposent une nouvelle définition de la « perception augmentée » pour qu’un agent autonome robotique interagisse de manière similaire entre des données physiques et des données provenant du jumeau numérique.
- (Mourchid and Slama, 2023) proposent un système basé sur l’apprentissage profond permettant d’évaluer automatiquement les exercices de rééducation physique de patients les effectuant sans supervision d'un clinicien. Cette méthode est basée sur des données squelettes 3D d’entrée qui sont traitées par un nouveau modèle basé sur les graphes : le Dense Spatio-Temporal Graph Conv-GRU Network with Transformer (D-STGCNT). La méthode est testée sur les jeux de données KIMORE et UI-PRMD et a montré son potentiel en surpassant les méthodes de l’état de l’art tout en donnant un retour d'information fiable.
- (El Boudouri and Bohi, 2023) présentent l’architecture EmoNeXt, basée sur l’architecture d’apprentissage profond ConvNeXt permettant de reconnaitre les émotions exprimées par le visage. L’architecture est basée sur des Spatial Transformer Network qui se concentrent les régions du visage les plus caractéristiques associées au blocs de type Squeeze-and-Excitation pour saisir les dépendances entre les canaux. Les auteurs ajoutent à cette architecture un mécanisme d’auto attention pour encourager des vecteurs de caractéristiques compacts. Les résultats sur la précision de classification d’émotions sur le jeu de données FER2013 dépassent l’état de l’art.

2.2.1.3 Thématique “Digitalisation et industrialisation de l’acte de construire”

Le bilan de l’année 2023 se distingue par plusieurs événements marquants. Tout d'abord, la soutenance de thèse de Maroua SBTI en novembre 2023. Cette thèse, la première inscrite dans la thématique « digitalisation et de l’industrialisation de l’acte de construire », a été réalisée en collaboration avec l’entreprise EQUENS, bénéficiant du soutien financier du dispositif CIFRE. Par ailleurs, les travaux de thèse de deux autres doctorants, Karim EL MOUNLA et Ziad MONLA, ont continué à progresser. Ils travaillent

respectivement sur la synergie LEAN BIM en phase de conception et l'évaluation des systèmes RA/RV combinés au BIM, démontrant ainsi l'intérêt des recherches menées au sein de notre thématique. En outre, l'année 2023 a également été marquée par notre sélection pour la phase 1 de l'Appel à Projets (AAP) PIA de Trignac Puissance 4. Ce projet a permis de collaborer avec divers partenaires pour développer une grille d'évaluation concernant l'optimisation des flux en phase de conception pour la construction modulaire. Cette initiative illustre notre engagement constant à améliorer les processus de conception et à intégrer des approches innovantes dans le domaine de la construction.

- (Mounla et al., 2023) présentent les résultats d'une revue de littérature sur la synergie entre le Lean et le BIM en phase de conception. Les résultats obtenus ont permis d'analyser différentes méthodes et outils Lean qui interagissent avec le BIM. La numérisation de ces méthodes et leur utilisation conjointe sont nécessaires pour faciliter leur application dans un projet de construction. L'étude a identifié des synergies prometteuses entre le Set-Based Design, le Choosing by Advantages et le Big Room, qui peuvent être associées aux données IFC pour générer plusieurs variantes possibles et sélectionner la solution la plus avantageuse. Cela aide ainsi les parties prenantes à optimiser la performance énergétique du bâtiment.
- (Monla et al., 2023) présentent les résultats d'une revue de littérature sur l'évaluation de la maturité des systèmes de réalité augmentée (RA) et de réalité virtuelle (RV) combinés au BIM. Les principaux résultats révèlent que l'évaluation de la maturité de la RA/RV basée sur le BIM en est encore à ses débuts. La revue suggère également une analyse critique des outils d'évaluation de la maturité existants, permettant l'interprétation des résultats de manière objective. Les recherches futures devraient se concentrer sur le développement d'une solution standardisée qui intègre les meilleures pratiques et les règles répondant aux besoins des professionnels et des chercheurs.

2.2.1.4 Thématique "Gestion et décision : Planification, Ordonnancement dynamique et Pilotage"

En 2023, la thématique "Gestion et Décision : planification, ordonnancement dynamique et pilotage" a renforcé son rôle de plateforme d'échanges scientifiques et de collaborations entre chercheurs des différentes régions. Les objectifs fixés, notamment la création d'un environnement de travail collaboratif et l'accompagnement des collègues dans la publication et le montage de projets, ont été atteints à travers des réunions mensuelles régulières, avec une participation assidue d'environ 80% des membres. Au cours de ces réunions, les discussions ont porté sur des sujets clés tels que la conception de systèmes de production résilients et durables, l'exploitation des nouvelles technologies dans les systèmes de production, et l'optimisation de la planification logistique. L'année a été marquée par une série de séminaires et de présentations organisées lors de nos réunions mensuelles, qui ont été des moments clés pour le partage de connaissances et la discussion. En 2023, sept nouvelles thèses ont été lancées, abordant des thématiques en lien avec la production et la logistique, tout en utilisant les outils de la recherche opérationnelle. La thématique s'est agrandie avec l'arrivée de nouveaux membres, tels que Yousra El Kihel, Sonia Ikken Benali, et Ouahib Guenounou, tandis que plusieurs publications de rang A ont été réalisées, contribuant à la visibilité de la thématique. Les principales contributions de la thématiques sont :

- (Sanogo et al., 2023) Ce papier propose une approche de simulation basée sur un système multi-agent pour résoudre le problème d'ordonnancement de type job-shop avec tâches de transport, en considérant les contraintes opérationnelles telles que l'évitement de collisions entre les véhicules de transport autonomes (AGV). Les principales contributions de ce travail sont : (1) Vérifier la faisabilité des ordonnancements optimisés proposés dans la littérature en les simulant, car peu d'études se sont intéressées à cette étape de validation. (2) Prendre en compte l'évitement de collisions entre AGVs comme une contrainte opérationnelle durant la simulation, car peu de travaux ont traité cet aspect dans le cadre du problème d'ordonnancement job-shop avec tâches de transport. Des algorithmes d'évitement de collisions et de négociation des trajectoires sont proposés. (3) Montrer l'impact de l'évitement de collisions sur les résultats d'ordonnancement optimisés, et proposer une heuristique basée sur la collaboration entre AGVs pour résoudre les situations de blocage (deadlocks) durant les simulations. (4) Tester la sensibilité de l'approche

proposée en faisant varier les temps de process et vérifier sa capacité à s'adapter aux ordonnancements optimisés. Les résultats obtenus mettent en évidence l'impact significatif de la prise en compte de l'évitement de collisions sur les performances des solutions de la littérature, tout en étant plus réalistes. Ils démontrent également l'efficacité des algorithmes proposés, qui permettent d'éviter toutes les collisions identifiées et de résoudre tous les blocages.

- (Bezoui et al., 2023) Ce papier propose un modèle d'optimisation multi-objectif pour le problème de localisation-routage avec fenêtres de temps et synchronisation. Le problème combine la décision de localisation des dépôts et la décision de routage des véhicules avec des contraintes de synchronisation entre les livraisons. Les objectifs du modèle sont de minimiser les coûts de transport, les coûts fixes d'ouverture des dépôts et le temps total de transport. Le modèle prend en compte des contraintes telles que les fenêtres de temps, la capacité des véhicules et la synchronisation des livraisons. Une approche de résolution basée sur un algorithme génétique avec diverses techniques d'amélioration est proposée pour résoudre efficacement ce problème complexe. Des expérimentations numériques sur des instances de référence montrent la pertinence et l'efficacité de l'approche développée. Les résultats indiquent que le modèle proposé permet d'obtenir des solutions optimales équilibrées entre les différents objectifs, offrant ainsi un outil d'aide à la décision pertinent pour les entreprises confrontées à ce type de problématique logistique.
- (Destouet et al., 2023) Ce papier passe en revue les problèmes liés à l'ordonnancement des ateliers flexibles dans le contexte de l'industrie 5.0, en mettant l'accent sur trois aspects clés : la réintégration humaine, la durabilité environnementale et l'amélioration de la résilience. Il examine comment l'intégration des facteurs humains, comme les compétences des opérateurs et leur bien-être, impacte la performance des systèmes de production. Il aborde également la nécessité de minimiser l'impact environnemental, notamment en réduisant la consommation d'énergie et les émissions de CO2, tout en optimisant la flexibilité des systèmes pour faire face aux perturbations. Le document conclut en soulignant l'importance d'adopter des méthodes d'ordonnancement dynamiques et résilientes, tenant compte à la fois des variables humaines et environnementales.

2.2.1.5 Thématique “Pronostic et maintenance prédictive”

L'année 2023 a été marquée par plusieurs faits marquants pour la thématique "Pronostic et Maintenance Prédictive". Tout d'abord, la structuration de ma thématique a permis d'identifier les ressources et les compétences clés nécessaires pour avancer sur cette thématique. Le démarrage de la thèse de doctorat de Rym BOUALI en septembre 2023, ainsi que les avancées significatives des thèses d'Amal Ayadi, d'Anas Hossini et de NDAO Lamine, ont illustré une progression notable dans nos travaux de recherche. Par ailleurs, plusieurs publications scientifiques ont vu le jour, dont deux dans des journaux de rang Q1, ainsi que huit présentations lors de conférences internationales prestigieuses telles qu'ACM et IEEE, sans oublier notre participation à des colloques nationaux. Enfin, la rédaction du premier rapport d'activité et la tenue de la première réunion de travail ont été des étapes cruciales pour consolider notre organisation.

Les principales contributions de 2023 (articles scientifiques) sont :

- (Ayadi et al., 2023) Cet article propose une approche novatrice pour estimer la Durée de Vie Restante (RUL) des équipements industriels en utilisant des réseaux de neurones profonds avec encodage et analyse spatio-temporelle. L'approche vise à améliorer la précision des prédictions tout en réduisant le temps de traitement pour permettre une évaluation en temps réel de l'état des équipements. Les résultats montrent une performance supérieure en termes de précision et d'efficacité par rapport aux méthodes existantes, en particulier dans le contexte de l'industrie 5.0.
- (Youness and Aalah, 2023) L'article propose une approche basée sur l'intelligence artificielle explicable (XAI) pour prédire la durée de vie restante (RUL) des moteurs d'avion en utilisant un modèle LSTM combiné à un regroupement de caractéristiques. Cette méthode améliore à la fois la précision des prédictions et l'interprétabilité du modèle, permettant de mieux comprendre les facteurs contribuant à la dégradation des moteurs. Les résultats expérimentaux, basés sur le dataset C-MAPSS de la NASA, montrent que cette approche surpasserait les méthodes existantes tout en étant plus accessible à l'interprétation humaine.

- (Meriem et al., 2023) Cet article présente une feuille de route pour la maintenance prédictive des systèmes industriels intelligents dans le contexte de l'Industrie 4.0. Il examine les principales approches de maintenance prédictive basées sur les données, les connaissances et les modèles physiques, et discute des défis actuels liés à leur mise en œuvre. L'article met en évidence la nécessité d'intégrer des méthodes hybrides pour surmonter les limitations des approches individuelles et propose une classification détaillée des techniques de maintenance prédictive, tout en soulignant les enjeux d'incertitude et de gestion des données.

2.2.1.6 Thématique “Intégration de matériaux et procédés”

La thématique a publié 5 ACL cette année. L’année a également été marquée par le lancement de deux thèses en partenariat avec le CEFET/RJ. La collaboration internationale a aussi permis la visite du Prof. Marcelo Ribeiro de l'Université de São Paulo (USP) sur le campus de Saint-Nazaire du 11 au 20 novembre. Un de ses doctorants avait déjà passé 6 mois à Saint-Nazaire en début d’année, travaillant sur une partie de sa thèse. Les résultats de cette collaboration ont été publiés dans un ACL. Il convient de souligner que l'Université de São Paulo occupe la 85e position dans le classement « QS World University Rankings ». À titre de comparaison, seulement quatre universités françaises sont mieux classées que l'USP selon le même classement, ce qui renforce la qualité de la collaboration internationale que notre laboratoire entretient. Afin de donner continuité à ce partenariat, un projet a été déposé dans le cadre de l'appel à projets ANR PRCI FAPESP.

- (Grangeat et al., 2023) examine les interphases dans les assemblages collés époxy/métal, cruciales pour l'adhésion et le comportement en milieu humide. Il propose un modèle de formation de l'interphase qui comprend deux scénarios et explique tous les résultats expérimentaux observés dans la littérature sur les interfaces d'un joint collé. Des hypothèses sur la diffusion de l'eau et les propriétés de l'interface clarifient les changements de surface de fracture observés lors du vieillissement humide.
- (Gîrboveanu et al., 2023) étudie le comportement mécanique de la zone de transition interfaciale (ITZ) entre la pâte de ciment et les granulats exposée au lessivage. L'ITZ, d'une épaisseur de 15 µm, subit une décalcification significative affectant les propriétés mécaniques de l'adhérence. Le niveau de gris, le rapport Ca/Si et le module de Young évoluent de manière similaire. L'ITZ provoque des fissures et un décollement, vérifiés par analyses chimiques et tests mécaniques.
- (Da Silva et al., 2023) évalue les changements des propriétés en compression d'une mousse de polyuréthane biosourcée après exposition à 90 °C sur différentes périodes. Une méthode numérique est proposée pour prédire le comportement en compression après dégradation. Les simulations concordent avec les données expérimentales, permettant de prévoir les évolutions mécaniques sur des périodes intermédiaires. L'article fournit des informations essentielles sur la durée de vie et la dégradation du polyuréthane vert.

2.2.1.7 Thématique “Gestion énergétique - Conforts et santé dans le bâtiment”

En 2023, notre thématique a réalisé des avancées significatives dans la recherche *via* un travail de qualité, démontré par la publication de 2 ACLs et 6 C-ACTIs (IEEE, IBPSA, CISBAT). Nous avons initié deux nouvelles thèses de doctorat, l'une dans la région EST et l'autre dans la région Ouest. Cette dernière étant cofinancée par Brest Métropole. Quatre doctorants—Chinmayi Kanthila, Yassine Masmoudi, Khalil Al Sayed et Mohammad Valizadeh—ont réalisé des progrès notables dans des domaines tels que la gestion intelligente de l'énergie des bâtiments, la modélisation de l'occupation, les systèmes BIPV, la décarbonisation des bâtiments et la calibration des modèles thermiques. Nous avons également organisé un symposium international sur le campus de Brest en collaboration avec l'IRDL et l'ISEN Ouest, accueillant de nombreux intervenants internationaux, soulignant ainsi notre engagement en faveur de la collaboration internationale. De plus, nous avons contribué à la réalisation de la phase 1 du projet Trignac Puissance 4

PIA. Nous avons également soumis une proposition pour l'appel à projets FTJ 21-27 en partenariat avec AKAjoule et d'autres collaborateurs.

- (Abouelaziz and Jouane, 2023). Photogrammetry and deep learning for energy production prediction and building-integrated photovoltaics decarbonization. In Building Simulation (Vol. 17, No. 2, pp. 189-205). Beijing: Tsinghua University Press.) Abouelaziz et Jouane ont introduit BIM-AITIZATION pour relever les défis de la prédiction de la production d'énergie dans les systèmes BIPV. Les méthodes traditionnelles peinaient à intégrer la photogrammétrie et le BIM, ainsi qu'à automatiser la conversion des données 3D complexes. Cette nouvelle approche a combiné photogrammétrie et deep learning, notamment les CNN, améliorant ainsi la précision des prévisions. Les tests ont montré que le modèle CNN surpassait les outils traditionnels et commerciaux pour la gestion énergétique durable.
- (Sadeghian Broujeny et al., 2023). Energy Consumption Forecasting in a University Office by Artificial Intelligence Techniques: An Analysis of the Exogenous Data Effect on the Modeling. Energies, 16(10), 4065.) Sadeghian Broujeny et al. ont proposé une approche innovante basée sur l'IA pour prévoir la consommation énergétique d'un bureau universitaire. Corrigeant les lacunes des méthodes précédentes en intégration de données exogènes et optimisation des délais, plusieurs modèles d'apprentissage, dont LSTM, GRU et NARX-MLP, ont été comparés. Le modèle LSTM, avec délais optimisés, a obtenu la meilleure précision (RMSE de 0,23). Cette méthode a surpassé les techniques comme les arbres de décision et XGBoost, prouvant son efficacité pour la gestion énergétique des bâtiments intelligents.

2.2.1.8 Thématique “Gestion des systèmes de transports multimodaux”

La thématique est en émergence au niveau de l’unité de recherche. Elle compte à fin 2023 5 enseignants-chercheurs et 4 doctorants. Cette année a été marquée par le succès à l’appel à projet CEE du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire du projet MobE présenté par CESI. MobE est un ambitieux programme d’économies d’’énergie dédié à la mobilité quotidienne des étudiants qui concentre notamment des activités de recherche sur l’organisation et la gestion des déplacements domicile-campus au travers des leviers que sont les modes de déplacement partagés et/ou durables. Les résultats visés ambitionnent d’appliquer les contributions disciplinaires de la modélisation, de la recherche opérationnelle et de l’intelligence artificielle aux systèmes de transports multimodaux. L’année a également été marquée par l’intégration dans différents réseaux de recherche (Défi clé MIDOC, R3MOB et NéoCampus), la poursuite des activités du partenariat tripartite entre TISSEO-CESI-Cerema et de la Chaire Mobilité et Transports Intelligents portée par l’Université de Bordeaux qui adresse en particulier la modélisation et l’optimisation de la micro-mobilité.

- (Swessi et al., 2023) Free-Floating Micro-mobility Smart Redistribution Using Spatio-temporal Demand Forecasting, *IEEE Vehicular Networking Conference (VNC).* La contribution de Swessi et al. Adresse certaines problématique de la micromobilité es véhicules sont économiques, faciles à utiliser et agréables à conduire, ce qui explique leur popularité croissante. Les systèmes de free-floating, permettant un stationnement flexible, ont également contribué à cette popularité. Cependant, ces systèmes rencontrent des défis majeurs, notamment le déséquilibre et la mauvaise distribution des véhicules, entraînant insatisfaction et perte de clients. Pour résoudre ces problèmes, il est crucial de choisir des emplacements stratégiques accessibles à tous. Cet article propose un modèle d'apprentissage automatique pour prévoir la demande spatio-temporelle en utilisant une technique de régression multi-sorties. L'objectif est d'identifier les zones idéales pour le déploiement de la flotte et d'équilibrer le système en fonction des besoins des utilisateurs. La solution, conçue pour les scooters électriques publics, est basée sur l'estimation de la demande des utilisateurs sur une zone de service basée sur une grille. Elle surpasse d'autres modèles de base, tels que le Random Forest, le Gradient Boosting et le Stacking Regressor.
- (Sahbani et al., 2023) évalue l'impact d'une modification du réseau de transport multimodal dans la région de Rouen Métropole Normandie en utilisant un modèle de simulation basé sur des agents. La méthode proposée permet une représentation réaliste du comportement de transport individuel et aide les planificateurs à évaluer les changements proposés. Les paramètres de simulation, adaptés à la population française, sont basés sur le scénario MATSim Ile de France. Les résultats montrent une augmentation de l'utilisation du vélo (+1,8%) et du covoiturage (+1,4%), ainsi qu'une

diminution du temps de trajet (-6%). Ces résultats soulignent les avantages des modes de transport respectueux de l'environnement et la nécessité de réduire la congestion du trafic.

2.2.1.9 Projets et soutenances

Ces différents travaux se déroulent en partie dans le cadre de projets collaboratifs auxquels participent les membres de l'équipe. Les projets en cours sont présentés dans le tableau ci-après.

Nom	Dispositif de financement	Années	Budget / budget CESI	Partenaires	Rôle du CESI LINEACT (Coordinateur, Responsable WP, Responsable de tâches)	Contributions du CESI LINEACT
ANTIHPERT	Région Normandie	2021 - 2025	385k€ / 155k€	CESI, ESIGELEC, Université du Havre	Coordinateur, responsable du WP modélisation du comportement humain	La contribution de l'équipe CESI consiste à développer un simulateur intégrant le comportement des opérateurs humains et l'optimisation de l'allocation des opérateurs ainsi que l'ordonnancement de la production.
JENII	PIA	2021-2025	14 M€ / 2 M€	ENSAM, CESI, CNAM, CEA	Responsable WP1, responsable du développement de 2 jumeaux numériques	R&D sur les jumeaux numériques interfacés en XR des plateformes industrielles. Proposition d'une architecture intégrant INTERVALES et OPC UA.
SCOPES	ANR/AID ASTRID	2022-2024	412k€ / 132 k€	CESI LINEACT, LITIS, IRSEEM	Coordinateur scientifique, responsables de tâches	Formalisme évidentiel pour la grille d'occupation, méthodologie d'augmentation multi-vues visuelle et LiDAR
OASIS	AAP Plateforme Métropole Rouen Normandie	2022-2024	217k€ / 217k€	CESI LINEACT	Coordinateur	IA pour la robotique en environnements industriels hostiles
COLIBRY	AAP ESR Métropole Rouen Normandie	2022-2025	142k€ / 70k€	CESI LINEACT, LITIS, IRSEEM	Responsable de WP, Responsables de tâche	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
BATTwin	Horizon Europe	2023-2027	6,9M€/200k€	16 partenaires de 10 États membres de l'UE et du Royaume-Uni, dont 10 entreprises, 4 PMEs	Responsables de tâche	Contrôle de la production d'un système de fabrication de batteries, intelligent reconfigurable et écologique par la modélisation et l'optimisation d'un jumeau numérique.

FUSION	Idemo régionalisé - France 2030	2023-2027	/ 564 k€	Assystem, CESI, Conscience Robotics	Responsable de WP, Responsables de tâche	XR pour la conception de missions robotiques et la télé-opération de robots via le jumeau numérique Perception robotique par carte sémantique pour la mise à jour du jumeau numérique
MOBE / Mon Trajet Vert	CEE	2023-2027	8 M€ / 8M€	CESI	Coordinateur	Planification de la mobilité des étudiants de l'enseignement supérieur au travers d'un système dynamique et multimodal. Prédiction des besoins de mobilité des étudiants au sein d''un système multimodal en utilisant l'apprentissage par renforcement.
FAN	Régon Normandie et FEDER	2023-2026	5,9 M€ / 481 k€	Arkema, CESI, 3 D&G, Demgy, Francofil, INSA Rouen Normandie (GPM), MSC Scanning, NAE, NES 3D et Polyvia Formation	Responsables de tâche	Etudes, analyses et expérimentations des procédés de post-traitement liés à la fabrication additive Etude sur la revalorisation des déchets liés à l'usage de la fabrication additive (FDM)
ROJUNACO	Métropole Rouen Normandie	2023-2025	77 k€ / 77 k€	CESI	Coordinateur	Construction 4.0 - Recalage de données, de la remontée d'informations sémantiques et la mise en place d'une preuve de concept pour des missions d'inspections automatisées basées sur le jumeau numérique, le BIM, la robotique et la réalité augmentée.
Rouen Mobilités Intelligentes pour tous	TIGA	2020 – 2024	5,2 M€ / 443 k€	Chef de file : Métropole Rouen Normandie	Responsables de tâches	Proposition d'un modèle de sim-optimisation visant à optimiser la mobilité urbaine par le biais du covoiturage dynamique avec des véhicules électriques et autonomes. Proposition d'un nouveau cadre de construction de hub dynamique basé sur le regroupement spatio-temporel des demandes des passagers.
OPTIMAN	Région Normandie, FEDER	2023 – 2026	639 k€ / 207 k€	CESI, Ateliers Maugars	Coordinateur	Développer des solutions basées sur la robotisation et l'optimisation de l'ordonnancement des opérations

TRIGNAC Puissance 4	AMI Démonstrateurs de la ville durable	2023	59 550 € / 29 775 €	CARENE, Chantiers de l'Atlantique, EDEIS, LAD, PMNSN	Responsable de tâche	Etat de l'art en appui à la phase conception du démonstrateur sur la partie thermique, gestion des flux de construction, instrumentation et benchmark sur la construction hors-site en France et l'international

Une Soutenance de HDR s'est déroulée sur 2023 :

Vincent HAVARD, "Vers la généralisation du jumeau numérique interfacé en XR pour l'assistance et la formation en industrie : architecture, modèles de données et connaissances et intégration de l'apprentissage profond", CNAM, Soutenue publiquement le 04 décembre 2024.

6 thèses ont également été soutenues sur la période :

NOM	prénom	Date de soutenance	Thématique	Titre de la thèse
COUPRY	Corentin	20/12/2023	Interactions Humains systèmes	Approche mixte RV/RA pour le suivi et l'optimisation de la performance en exploitation de bâtiments intelligents
FAHEM	Zerrouki	16/02/2023	Modélisation, conception et Architecture des CPS	A Robust Security Communication through a Mobile and IoT Physical Unclonable Function
HADDAM	Nassim	23/03/2023	Gestion énergétique - Confort et santé dans le bâtiment	Machine Learning pour le pilotage énergétique intelligent de Bâtiments
MILOUD	Dahmane Walid	15/02/2023	Modélisation, conception et Architecture des CPS	Sécurité par construction à l'aide de méthodes formelles et de Blockchain : Application aux réseaux IoT dans les villes intelligentes
SBITI	Maroua	21/11/2023	Digitalisation et industrialisation de l'acte de construire	"Lean - BIM " en construction ; Comment améliorer la performance opérationnelle en combinant le Lean et le BIM en phase exécution
SCHIAVI	Barbara	04/05/2023	Interactions Humains systèmes	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

2.2.1.10 Publications sélectionnées

Abouelaziz, I., Jouane, Y., 2023. Photogrammetry and deep learning for energy production prediction and building-integrated photovoltaics decarbonization. Build. Simul. 17, 189–205. https://doi.org/10.1007/s12273-023-1089-y

Alshalalfah, A.-L., Mohamed, O.A., Ouchani, S., 2023. A framework for modeling and analyzing cyber-physical systems using statistical model checking. Internet Things 22, 100732. https://doi.org/10.1016/J.IOT.2023.100732

Ayadi, A., Benatia, M.A., Chaieb, R., Louis, A., 2023. RUL Prediction with Encoding and Spatial-Temporal Deep Neural Networks, in: 2023 IEEE Smart World Congress (SWC). IEEE, Portsmouth, France, pp. 1–7. https://doi.org/10.1109/SWC57546.2023.10449309

Benaribi, F.I., Malki, M., Faraoun, K.M., Ouchani, S., 2023. A SPARQL-based framework to preserve privacy of sensitive data on the semantic web. Serv. Oriented Comput. Appl. 17, 183–199. https://doi.org/10.1007/S11761-023-00368-6

Bezoui, M., Olteanu, A.-L., Sevaux, M., 2023. Integrating preferences within multiobjective flexible job shop scheduling. European Journal of Operational Research 305, 1079–1086.

Da Silva, E.H.P., De Barros, S., Vieira, A.F.C., Da Costa, R.R.C., Ribeiro, M.L., 2023. Accelerated Aging on the Compression Properties of a Green Polyurethane Foam: Experimental and Numerical Analysis. Polymers 15, 1784. https://doi.org/10.3390/polym15071784

Destouet, C., Tlahig, H., Bettayeb, B., Mazari, B., 2023. Flexible job shop scheduling problem under Industry 5.0: A survey on human reintegration, environmental consideration and resilience improvement. Journal of Manufacturing Systems 67, 155–173.

El Boudouri, Y., Bohi, A., 2023. EmoNeXt: an Adapted ConvNeXt for Facial Emotion Recognition, in: 2023 IEEE 25th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP). Presented at the 2023 IEEE 25th International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP), pp. 1–6. https://doi.org/10.1109/MMSP59012.2023.10337732

Feddoul, Y., Ragot, N., Duval, F., Havard, V., Baudry, D., Assila, A., 2023. Exploring human-machine collaboration in industry: a systematic literature review of digital twin and robotics interfaced with extended reality technologies. Int J Adv Manuf Technol. https://doi.org/10.1007/s00170-023-12291-3

Gîrboveanu, A., Jebli, M., Jamin, F., Huon, V., Bonnet, L., Georgescu, D., Saïd El Youssoufi, M., 2023. Mechanical tensile behaviour of cement paste/aggregate bond exposed to leaching. Construction and Building Materials 369, 130592. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130592

Grangeat, R., Girard, M., De Barros, S., Jacquemin, F., 2023. An overview of interphase's formation and participation on water diffusion in epoxy/metal bonded assemblies. The Journal of Adhesion 100, 157–177. https://doi.org/10.1080/00218464.2023.2206960

Meriem, H., Nora, H., Samir, O., 2023. Predictive Maintenance for Smart Industrial Systems: A Roadmap. Procedia Computer Science, The 14th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies Networks (ANT) and The 6th International Conference on Emerging Data and Industry 4.0 (EDI40) 220, 645–650. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.082

Monla, Z., Assila, A., Beladjine, D., Zghal, M., 2023. Maturity Evaluation Methods for BIM-Based AR/VR in Construction Industry: A Literature Review. IEEE Access 11, 101134–101154. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3281265

Mounla, K.E., Beladjine, D., Beddiar, K., Mazari, B., 2023. Lean-BIM Approach for Improving the Performance of a Construction Project in the Design Phase. Buildings.

Mourchid, Y., Slama, R., 2023. D-STGCNT: A Dense Spatio-Temporal Graph Conv-GRU Network based on transformer for assessment of patient physical rehabilitation. Computers in Biology and Medicine 165, 107420. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2023.107420

Sadeghian Broujeny, R., Ben Ayed, S., Matalah, M., 2023. Energy Consumption Forecasting in a University Office by Artificial Intelligence Techniques: An Analysis of the Exogenous Data Effect on the Modeling. Energies 16, 4065. https://doi.org/10.3390/en16104065

Sahbani, B., Benatia, M.A., Pallares, G., Louis, A., 2023. Effect of network modifications on a french metropolis transportation system by agent-based transport simulations, in: 2023 8th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS). Presented at the 2023 8th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), IEEE, Nice, France, pp. 1–7. https://doi.org/10.1109/MT-ITS56129.2023.10241504

Sanogo, K., Benhafssa, A.M., Sahnoun, M., Bettayeb, B., Abderrahim, M., Bekrar, A., 2023. A multi-agent system simulation based approach for collision avoidance in integrated job-shop scheduling problem with transportation tasks. Journal of Manufacturing Systems 68, 209–226.

Swessi, R., Khalfi, Z.E., Jemili, I., Mosbah, M., 2023. Free-Floating Micro-mobility Smart Redistribution Using Spatio-temporal Demand Forecasting, in: 2023 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC). Presented at the 2023 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), IEEE, Istanbul, Turkiye, pp. 73–80. https://doi.org/10.1109/VNC57357.2023.10136284

Youness, G., Aalah, A., 2023. An Explainable Artificial Intelligence Approach for Remaining Useful Life Prediction. Aerospace 10, 474. https://doi.org/10.3390/aerospace10050474

Zerrouki, F., Ouchani, S., Bouarfa, H., 2023. PUF-based mutual authentication and session key establishment protocol for IoT devices. J. Ambient Intell. Humaniz. Comput. 14, 12575–12593. https://doi.org/10.1007/S12652-022-04321-X

2.2.2 Effectifs

Au 31 décembre 2023, l'équipe est constituée de 79 Enseignants – chercheurs dont 13 HDRs et 1 enseignant chercheur associé (Professeur des Universités). La répartition des effectifs par thématique est présentée dans le tableau suivant. Il faut noter que l'équipe a intégré 19 enseignants chercheurs sur 2023 pour accompagner le développement de CESI et CESI LINEACT.

Thématiques	ECs dont HDRs	HDRs	Doctorants
Modélisation, Architecture et Décision des CPS	7	1	10
Interactions Humains systèmes	20	6	6
Gestion et décision - Planification, Ordonnancement dynamique et Pilotage	15	1	68
Digitalisation et industrialisation de l'acte de construire	4	2	3
Pronostic et maintenance prédictive	8+1 EC associé	1+1 EC associé	3
Gestion des systèmes de transports multimodaux	5	0	3
Intégration de matériaux et procédés	11	1	3
Gestion énergétique - Confort et santé dans le bâtiment	8	0	7

2.2.3 Evolution et perspectives de l'équipe

Le projet scientifique de l'équipe est développé en cohérence avec la stratégie globale du laboratoire CESI LINEACT et les stratégies régionales, nationales et européennes de recherche et d'innovation afin de contribuer aux enjeux liés aux transformations numériques et environnementales des entreprises et de la société. Sur 2024, nous poursuivrons les actions stratégiques de développement avec :

- L'intégration dans l'équipe et les thématiques des nouveaux enseignants-chercheurs qui viennent de la rejoindre ou qui seront recrutés à CESI sur la période.
- La poursuite de la dynamique de 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 ainsi que l'organisation d'évènements scientifiques.
- L'insertion dans les sociétés savantes.
- Le renforcement et le développement de collaborations actives avec les acteurs académiques notamment à l'international.
- La poursuite et le renforcement des partenariats avec des entreprises des territoires.

- La poursuite de la participation active des enseignants-chercheurs de l'équipe à la mise en œuvre des plateformes Bâtiment du Futur, Industrie 5.0 et robotiques, associées 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.

Nous souhaitons également poursuivre la dynamique de collaboration avec l'équipe Apprendre et Innover notamment sur les questions d'intégration et d'exploitation des outils de l'IA, d'interactions Humains systèmes, d'intégration des facteurs et comportements humains ou encore des environnements d'apprentissages instrumentés basés sur les Jumeaux Numériques interfacés en XR.

Les perspectives de l'équipe par thématique sont déclinées ci-après :

- Thématique "Modélisation, conception et Architecture des CPS"
  Pour 2024, nous nous concentrerons sur le développement de projets ANR en partenariat avec des institutions nationales (académique et industriel), l'inscription de nouvelles thèses en cotutelle, et l'approfondissement des recherches sur le routage sécurisé, la blockchain, et le federated learning. Ces efforts seront soutenus par l'élargissement de notre réseau de collaborations et l'encadrement de stagiaires, tout en continuant à jouer un rôle actif au sein de la communauté scientifique internationale par l'organisation de manifestations internationales ou la participation en tant que relecteurs, auteurs ou conférenciers invités.

- Thématique "Interactions Humains systèmes"
  En perspective 2024, nous prévoyons la soutenance de thèse d'Abdessalem ACHOUR, portant sur la cartographie sémantique par la fusion de données d'un essaim de robots. Plusieurs sujets de doctorats vont être proposés : l'un sur l'estimation de pose d'objets faiblement texturés dans un contexte industriel, un second sur l'étude des interfaces XR et des interactions Humain-Robot couplé aux jumeaux numériques. En outre, nous prévoyons l'intégration de deux enseignants-chercheurs, Célestin Préault et Varsha Devi. La thématique répond également à plusieurs appels à projet avec, par exemple, des sujets sur la reconnaissance de gestes pour la formation et l'évaluation de professionnels de santé, le jumeau numérique temps réel pour des interventions post-incidents dans des sites industriels à risque ou encore des problématiques de collaboration humain – robot à câbles sécurisée dans le contexte de l'industrie 5.0. Enfin, nous souhaitons également poursuivre la dynamique de publications dans des journaux et conférences qualitatives et renforcer notre participation aux sociétés savantes.

- Thématique "Digitalisation et industrialisation de l'acte de construire"
  En perspective 2024, nous prévoyons de finaliser les travaux de thèse des deux doctorants en cours, en proposant des outils d'aide à la décision visant à optimiser la phase de conception et à améliorer la performance de l'entreprise dans l'utilisation des nouvelles technologies telles que la RA/RV combinée au BIM. De plus, nous envisageons de lancer un nouveau sujet de recherche sur la synergie LEAN et Green, un domaine qui suscite un vif intérêt au sein de la communauté scientifique et professionnelle. À cet égard, une nouvelle thèse sera initiée en septembre 2024. Enfin, pour renforcer les ressources de notre thématique, nous projetons de recruter de nouveaux enseignants-chercheurs (externes ou en mobilités thématiques en interne). Cette stratégie vise à enrichir notre thématique et à diversifier les compétences disponibles, afin de soutenir notre ambition de développer davantage la recherche et l'innovation de notre thématique.

- Thématique "Gestion et décision : Planification, Ordonnancement dynamique et Pilotage"
  Pour 2024, la thématique "Gestion et Décision : Planification, Ordonnancement dynamique et Pilotage " envisage de poursuivre et d'amplifier ses efforts en se concentrant sur des domaines de recherche émergents et innovants. L'accent sera mis sur l'intégration des nouvelles méthodes de recherche opérationnelle, telles que les algorithmes quantiques et l'intelligence artificielle, dans les processus de planification et d'ordonnancement. La thématique prévoit également d'explorer l'utilisation de la recherche opérationnelle dans le cadre du Building Information Modeling (BIM),

afin de proposer des solutions avancées pour la gestion des infrastructures. En termes de projets, un effort particulier sera fait pour augmenter le nombre de propositions soumises aux appels à projets ANR, ainsi qu'à d'autres types de financements, en renforçant la préparation et la collaboration entre les membres. La participation à des conférences majeures comme Roadef et Sagip sera également encouragée, avec l'objectif d'accroître la visibilité de la thématique au niveau national et international. En 2024, la thématique anticipe également la soutenance d'au moins deux thèses, témoignant de la dynamique de recherche au sein du groupe. Enfin, une stratégie de publication renforcée sera mise en place, visant à multiplier les contributions dans des revues de qualité. L'année à venir s'annonce donc sous le signe de l'innovation, de la collaboration et de l'excellence scientifique, avec l'ambition de faire progresser encore davantage la thématique et d'accroître son impact dans le domaine de la gestion et de la décision.

- Thématique “Pronostic et maintenance prédictive”
  Pour 2024, nous prévoyons un programme d'animation structuré autour de réunions mensuelles, trimestrielles et annuelles afin de maintenir une dynamique constante au sein du groupe de travail. Un accent particulier sera mis sur l'augmentation du nombre de publications scientifiques, notamment dans des journaux de rang Q1. De plus, nous avons également l'intention de renforcer notre participation dans divers groupes de travail, tels que le GDR ISIS et MACS, et de développer nos collaborations avec d'autres laboratoires. Aussi, la soutenance de la thèse d'Amal AYADI est prévue pour décembre 2024, et une HDR en décembre 2025. De plus, nous visons à soumettre quatre articles dans des journaux Q1 portant sur la maintenance prédictive et à initier une nouvelle thèse CIFRE pour renforcer nos travaux.

- Thématique “Intégration de matériaux et procédés”
  Un projet de collaboration a été déposé en Inde afin de permettre à notre collègue Sandip Budhe, du National Institute of Technology Calicut, de venir visiter le LINEACT. L’idée est d’accueillir le Prof. Budhe fin 2024. De plus, un projet Erasmus a été élaboré en partenariat avec l’Eötvös Loránd University en Hongrie. Ce projet permettra la venue d’un doctorant hongrois pour travailler avec Silvio de Barros et Romain Grangeat à Saint-Nazaire. En ce qui concerne les perspectives de publication, l’équipe vise à doubler en 2024 le nombre d’ACL publiés en 2023. Plus qu'une augmentation du nombre d’articles, il y a également la préoccupation d’augmenter le nombre de EC publiants de la thématique. Le nombre de doctorants devrait également augmenter l'année prochaine, car une proposition de thèse CIFRE a été construite en partenariat avec l’entreprise eXcent. Si la proposition est acceptée, l'ingénieur Lilian Becker commencera son doctorat en septembre 2024. Il sera dirigé par Silvio de Barros et encadré par Ahmed Nait Chabane et Romain Grangeat.

- Thématique “Gestion énergétique - Conforts et santé dans le bâtiment”
  En vue de 2024, nous prévoyons d'augmenter le nombre de publications ACL dans des revues classées Q1 et de participer activement à divers appels à projets de recherche. Nous avons reçu des retours positifs sur notre soumission pour l'appel à projets FTJ 21-27 et attendons l'approbation finale. Si ce projet est retenu, un nouveau doctorant sera recruté et des fonds seront alloués pour équiper l'ensemble du bâtiment CESI Saint-Nazaire. De plus, un financement partiel pour une autre thèse a été obtenu auprès de la région Bretagne, et une thèse CIFRE a été soumise en collaboration avec SQLI. Cela suggère une augmentation potentielle du nombre de doctorants et des contributions à notre thème. Nous prévoyons également de lancer une collaboration avec l'Université de Turku en Finlande, en commençant par une demande de subvention de mobilité et en visant des futurs projets communs dans le cadre des programmes ANR PRCI ou Interreg. Par ailleurs, Chinmayi Kanthila devrait soutenir sa thèse en septembre 2024. Nous avons également l'intention de soumettre au moins une proposition de projet pour le prochain appel à projets de l'ANR.

- Thématique “Gestion des systèmes de transports multimodaux”
  Les perspectives 2024 portent sur la poursuite du développement du projet de recherche de la thématique à travers les différentes actions de recherche initiées, les partenariats académiques et

industriels et des programmes structurants tel que le projet Mon Trajet Vert (MobE). Pour accompagner ce développement, deux enseignants chercheurs rejoignent la thématique et une nouvelle thèse intitulée « Planification de la mobilité des étudiants de l'enseignement supérieur au travers d'un système dynamique et multimodal. » est lancée en 2024 portant les effectifs à 7 enseignants chercheurs et 5 doctorants. Les objectifs scientifiques portent également sur la valorisation des travaux dans des revues internationales qualitatives.

3 L'ENGAGEMENT DEVELOPPEMENT DURABLE ET RESPONSABILITE SOCIETALE (DD&RS)

CESI LINEACT a établi une feuille de route pour la mise en œuvre de la politique du laboratoire de recherche et plus largement de la direction de la recherche et l'innovation. Cette feuille de route aborde toutes les thématiques nécessaires à la compréhension de l'objectif 2030, en intégrant le DDRS dans la formalisation de la prise en compte des enjeux sociétaux et environnementaux, ainsi que dans l'ouverture décrite dans les différentes parties du document sur la société civile et les actions qui les accompagnent.

En effet, l'unité de recherche a structuré une vision autour de 3 axes, dont l'un (axe 2 : une recherche avec et pour la société) est entièrement consacré au DDRS ; l'axe 3 (une recherche appliquée et intégratrice à la frontière des mondes numériques et physiques au service des spécificités territoriales) est également un des fondamentaux de l'ouverture de la recherche à la société civile, aux entreprises et aux territoires qui les accueillent. Un bilan et des points d'amélioration sont également décrits, ainsi que les relations avec les parties prenantes. Ces bilans et actions correctrices sont réguliers, à des fréquences variées selon les axes et les points relevés. Les indicateurs de pilotage de la recherche sont mis à jour tous les 15 jours.

La trajectoire donnée pour 2030 vient servir quatre piliers qui sont tous centrés sur le DDRS :

- consolider la gouvernance (Rôle du CS, de la DRI et des structures de coordination) et l'organisation administrative et RH de l'unité (Recrutements, évolution de carrière, égalité H/F, sentiment d'appartenance à l'UR, process qualité, éthique, plagiat, ...),
- cultiver l'excellence scientifique (publications, livres, thèses de doctorat, projet de recherche, notoriété internationale, ...), contribuer à la diffusion du savoir en restant à l'écoute des besoins de la société et de ses besoins,
- confirmer l'ouverture vers les territoires et la société (Rôle sociétal de l'unité via sa contribution à l'attractivité des territoires, la proximité avec les acteurs (collectivités) pour répondre à leurs besoins, contributions scientifiques aux enjeux de la transition écologique et du développement durable,
- renforcer les activités de transfert et de valorisation (PME/ETI, politique de chaires, politique de démonstrateur et de tiers lieux, thèses CIFRE, etc.

Enfin, les recherches menées et à mener au sein des équipes de recherche sont la preuve par l'exemple des applications DDRS concrètes des travaux menés au sein de l'unité.

L'intégralité des 51 projets lancés ou encore en cours depuis 2015 au sein de CESI LINEACT répond à un ou plusieurs des 17 Objectifs de Développement Durable couvrant l'intégralité des enjeux de développement dans tous les pays tels que le climat, la biodiversité, l'énergie, l'eau, la pauvreté, l'égalité des genres, la prospérité économique ou encore la paix, l'agriculture, l'éducation, etc. (ODD – voir https://www.agenda-2030.fr/17-objectifs-de-developpement-durable/?).

Il en est de même pour les 8 thèses CIFRE en cours, ainsi que pour les 3 chaires d'enseignement et de recherche avec nos partenaires industriels et notre participation à la fondation Bordeaux Université.

Parmi les ODD auxquels CESI LINEACT contribue *via* ses projets, ses chaires et ses thèses, nous pouvons identifier :

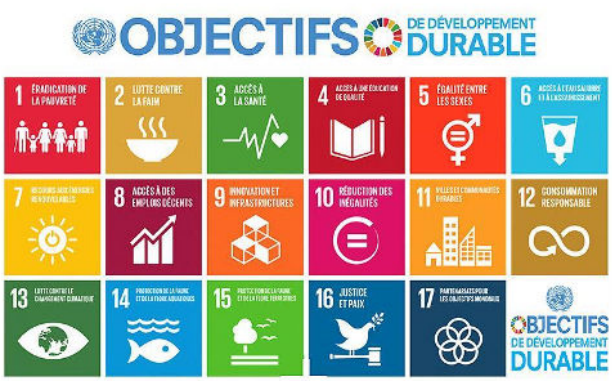
ODD4 - Veiller à ce que tous puissent suivre une éducation de qualité dans des conditions d'équité et promouvoir les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie,

ODD8 - Promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous,

ODD9 - Mettre en place une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation,

ODD11 - Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables,

ODD12 - Établir des modes de consommation et de production durables.



© Copyright

3.1 NOTRE POLITIQUE DD&RS

Les axes de travail dans lesquels CESI LINEACT s'est engagé sont les suivants :

3.1.1 Axe 1 : Mobilisation de l'expertise scientifique en appui aux transformations de la société

Action 1.1 : Transdisciplinarité de ses thématiques de recherche

CESI LINEACT s'est fixé pour objectif de contribuer au développement durable et soutenable des individus et des organisations notamment par et grâce à l'intégration des technologies numériques. Pour ce faire, CESI LINEACT intègre deux équipes de recherche transdisciplinaires impliquées dans des projets communs. Si l'équipe « Ingénierie et Outils Numériques » possède l'expertise des technologies dont numériques, l'équipe AI « Apprendre et Innover » va s'appuyer sur les paradigmes des Sciences Humaines, Sociales et de Gestion pour étudier l'objet technologique et organisationnel, son impact sur les processus d'apprentissage et d'innovation, et ses retombées sur le développement des individus, des entreprises et des territoires. Cette approche transdisciplinaire permet de couvrir les thématiques de l'acceptabilité et l'adaptabilité des technologies jusqu'au technologies cœurs des systèmes intelligents comme la cybersécurité ou l'intelligence artificielle

Action 1.2 : Prise de conscience des impacts environnementaux par le numérique.

En appuyant les recherches et la formation des enseignants-chercheurs et plus globalement du monde lié à la recherche (doctorants, ingénieurs de recherche) aux enjeux de la transition écologique pour un développement soutenable et la création de nouveaux métiers de la société bas carbone voire décarbonée. CESI LINEACT conduit des recherches sur les thématiques du pilotage et de l'optimisation des processus énergétiques de production, sur la gestion énergétique des bâtiments, les jumeaux numériques et les interactions humains-système dans une logique de massification à l'accès de ses plateformes - tout en réduisant le nombre de jumeaux physiques nécessaires. Elle mutualise ses moyens de calculs haute performance et recourt massivement aux services numériques.

Action 1.3 : transition des domaines applicatifs

CESI LINEACT s'oriente vers les domaines applicatifs identifiés dans la feuille de route France 2030 : Ville durable et bâtiments innovants, Santé Numérique, Enseignement et Numérique, Cyber sécurité, Décarbonation de l'industrie dans le contexte de l'industrie 5.0, Economie circulaire, Production et Stockage de l'énergie. Cette transition accompagnera les besoins de formation liés aux compétences et métiers d'avenir.

3.1.2 Axe 2 : Une politique rigoureuse de maitrise des impacts de son activité pour se saisir des enjeux environnementaux

Action 2. 1 : Maitrise des besoins.

CESI LINEACT s'est engagé dans le développement et l'intégration de concepts dans les systèmes au travers des activités sur le numérique et des travaux sur le développement d'interfaces d'interactions humain-système comme les jumeaux numériques, la RA/RV, la robotique ou encore la conduite de recherche sur l'affordance des dispositifs afin de réduire le besoin en terminaux et matériels, source importante de gaz à effets de serre (GES). Les interfaces d'interaction et leur intégration rapide dans des dispositifs de formation sont sans limite géographique. Des dispositifs de formation de qualité seront donc disponibles sans contrainte de déplacement et donc d'émission de GES. Par ailleurs, ces approches sont appliquées aux propres plateformes de CESI sur Rouen et Nanterre avec le recyclage des déchets et matériaux et leur réutilisation.

Action 2.2 : Ciblage des défis environnementaux

Le pilotage thermique de bâtiments et de l'outil de production, ainsi que les activités développées dans le domaine du Lean et du BIM contribuent à une meilleure maitrise des coûts environnementaux liés à la logistique et à l'organisation des projets de construction, ainsi qu'à la réduction des déchets issus des chantiers.

3.1.3 Axe 3 : CESI LINEACT développe les interactions Science Société avec des actions à destination du monde culturel, économique et social, partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société, avec notamment la science ouverte

Une recherche avec et pour la société implique des interfaces fortes entre les acteurs de la société et CESI.

Action 3.1 : Produits à destination du monde culturel, économique et social.
CESI LINEACT a produit un guide pratique de la pédagogie de l'alternance à destination des filières professionnelles et poursuit, en partenariat avec les acteurs qui lui font confiance, la réalisation de documents à destination du monde économique voire du grand public.

Action 3.2 : Une culture de projet forte en lien avec les territoires.
L'unité a une culture de projet forte. Elle s'est dotée des processus et services d'appui à la recherche pour faciliter et accompagner des réponses à appel à projets en nombre raisonné et dont le positionnement est dans la trajectoire de l'unité. Elle candidate régulièrement aux AAP/AMI nationaux lui permettant une adaptation continue aux enjeux de la société. Elle est régulièrement lauréate de projets d'envergure nationale qu'elle coordonne. CESI LINEACT participe en outre régulièrement aux projets des collectivités territoriales et s'insère dans plus de 20 pôles de compétitivité.

Action 3.3 : Un transfert rapide vers les formations.
Les enseignants-chercheurs de CESI LINEACT sont impliqués dans les activités de formation et de conception nationale des contenus pédagogiques. Les ressources technologiques sont mutualisées entre les activités de formation, de recherche et d'innovation. CESI LINEACT conduit des activités de recherche sur les pédagogies innovantes et participe à leur mise en œuvre dans les dispositifs de formation.

Action 3. 4 : Partage des connaissances avec le grand public et intervention dans des débats de société.
La diffusion des connaissances scientifiques vers les formations constitue une des raisons d'être de CESI LINEACT. C'est donc naturellement qu'a été a mis en place un politique volontariste de partage de ses connaissances avec le grand public à l'échelle nationale à destination de publics variés (étudiants, lycéens, entreprises, grand public, tables rondes…).

3.1.4 Axe 4 : Une recherche appliquée et intégratrice à la frontière des mondes numériques et physiques au service des spécificités territoriales.

Action 4.1 : Un passeur entre recherche amont et mise en œuvre dans la société
CESI LINEACT collabore scientifiquement avec des laboratoires reconnus pour leur implication dans la recherche amont et publie également avec des laboratoires à l'international et participe ou coordonne des projets de recherche collaborative avec les laboratoires et des acteurs de la société tout en réalisant des actions de valorisation.

Action 4.2 : Un maillage territorial fort.

CESI LINEACT est présent sur 23 sites de CESI là où la pédagogie demande des activités de recherche et reçoit un soutien important des collectivités territoriales et participe activement aux actions de médiations scientifiques organisées sur les territoires. Elle coordonne ou participe à des projets d'innovation et de transfert impliquant des entreprises locales. Elle est membre des clusters ou filières dans les territoires dans ses domaines d'activité. Elle accueille les acteurs locaux dans ses plateformes dans une logique de plateformes ouvertes.

Action 4.3 : Des plateformes remarquables et performantes.

CESI LINEACT dispose de plateformes remarquables et performantes sur plusieurs de ses sites. Elle a mis en place les équipes techniques pour maintenir et exploiter ces plateformes. Elle utilise le levier de la réponse à AAP/AMI pour financer de nouvelles plateformes ou faire évoluer ses équipements. Elle porte avec sa tutelle l'exploitation de ses moyens.

Action 4.4 : Les jumeaux numériques, vecteurs d'utilisations mutualisées des équipements de CESI LINEACT.

CESI LINEACT développe des activités de recherche sur la thématique des jumeaux numériques et des interactions humains-systèmes. Elle digitalise massivement les plateformes physiques utilisées conjointement avec la pédagogie pour permettre un accès virtuel à l'ensemble de ses membres. Les trois plateformes remarquables disposent aujourd'hui de leurs jumeaux numériques. CESI LINEACT permet une utilisation massive des jumeaux numériques de ses équipements par les étudiants inscrits dans les programmes de formation de CESI.

3.1.5 Axe 5 : Une approche structurée des valeurs liées à l'intégrité scientifique

Action 5.1 : Feuille de route Science ouverte

CESI LINEACT a mis en place une approche reposant sur le volontariat de ses membres afin de participer à la politique nationale de science ouverte en écho à la loi république numérique de 2016, au code de la recherche et à la seconde phase du plan national pour la science ouverte 2021-2027. Cette approche préliminaire a permis d'avoir 36% des publications de la période 2017-2022 en accès ouvert sur HAL. Le sujet de la science ouverte va faire l'objet d'une politique incitative pour atteindre en 2030 100% de ses publications en accès ouvert sur des plateformes comme HAL ou arXiv..

Action 5.2 : Intégrité scientifique, déontologie et éthique

CESI LINEACT a rejoint la démarche d'intégrité scientifique proposée par l'HCERES par son adhésion officielle à la « charte française de déontologie des métiers de la recherche » de l'HCERES (engagement du CA à ce que CESI mette en œuvre cette charte votée en AG en février 2022). CESI LINEACT a rédigé un "livre blanc" traitant de l'Engagement CESI pour la recherche et l'innovation responsables qui vient mettre en pratique les préceptes de la charte dans la vie quotidienne professionnelle des salariés CESI. CESI s'est engagé à élaborer des formations avec la direction des Ressources Humaines qui seront proposées aux acteurs de la recherche au cours du 2e semestre 2024. Par ailleurs, CESI LINEACT s'est doté d'un logiciel performant d'anti-plagiat et d'un guide des outils de la recherche pour notamment identifier les éditeurs en zone grise et les conférences prédatrices.

3.2 CHAIRES ET THESES CIFRE

3.2.1 La Chaire CESI-AVELIS : Construction hors-site, industrialisée, pour l'humain et l'environnement

Les activités ont démarré le 6 avril 2022 et se déroulent autour des thèmes suivants :

- Construction hors-site et performances du bâtiment
- Optimisation et rationalisation des modes constructifs
- Outils numérique et industriels pour la construction (BIM, Lean, DfMA…)
- Performances et RSE en entreprise

Les actions réalisées concernent une **thèse CIFRE** dans le domaine du Management éthique, le soutien à la mise en place des formations de l'école d'ingénieurs : Mastère MPC option : Construction industrialisée, modulaire et hors-site, Bachelor optimisation des projets de construction…, la participation des experts d'AVELIS dans les enseignements en Mastère MPC, la participation de CESI au concours national e-Nova organisé par AVELIS avec le soutien de la Région IdF et des publications scientifiques et techniques conjointes

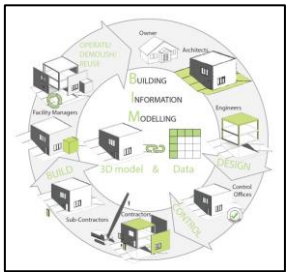
3.2.2 La Chaire CESI- ESSOR : Ville du Futur et Economie circulaire

Pour répondre à des nécessités environnementales, sociétales et économiques, nos bâtiments seront dans l'avenir réversibles, mutables et adaptables. Cette évolution du bâtiment et de la ville doit répondre au principe de l'économie circulaire. La numérisation et l'industrialisation de la construction peut accompagner cette mutation et la rendre accessible et davantage efficiente. Pour relever ces défis soulevés par la ville du futur, il est important d'accompagner les territoires et les acteurs industriels en termes de formation, de recherche et d'innovation. C'est la raison de la création de la Chaire d'enseignement et de recherche « ville du futur et économie circulaire » par CESI et le groupe ESSOR en juin 2019.

Les activités de cette Chaire se structurent autour des thèmes suivants :

- La ville et le bâtiment du futur
- La mutation urbaine et les impacts environnementaux
- L'économie circulaire
- Le BIM dynamique et les jumeaux numériques
- La simulation 4.0

Plusieurs actions sont en cours : cofinancement de thèses et de stagiaires recherche, organisation d'évènements thématiques de recherche et d'innovation, etc. Dans ce cadre, les premières actions réalisées sont les suivantes :



- **Thèse CIFRE** en cours : « Analyse prédictive et BIM dans le contexte de la ville intelligente et durable »
- Participation des experts d'ESSOR au module d'initiation à la recherche des formations d'ingénieurs La Rochelle et Brest, membre de jury de thèse de doctorat…
- Publications scientifiques et techniques conjointes.

3.2.3 Les thèses CIFRE

7 thèses CIFRE en cours en 2023 traitaient directement un ou plusieurs des ODDs.

CIFRE - Essor Analyse prédictive et BIM dans le contexte de la ville intelligente et durable

CIFRE - eXcent Optimisation multi -objectifs de la collaboration homme-robot basée sur l'intelligence artificielle : application à l'industrie aéronautique

CIFRE - Pilgrim technologies Reconnaissance de points d'intérêts pour un robot d'inspection dans un environnement contraint et dégradé

CIFRE Pilgrim Couplage d'odométrie visuelle et proprioceptive pour la cartographie de porteurs hétérogènes auto calibrés dans un environnement dynamique et complexe sans GPS.

CIFRE - SNCF La robotique "Ikigai", un levier majeur de l'engagement des agents dans leur travail, garant d'une haute performance industrielle

CIFRE – Equans "Lean - BIM " en construction ; Comment améliorer la performance opérationnelle en combinant le Lean et le BIM en phase exécution

CIFRE - Vinci Construction 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

Toutes répondent à :

- L'ODD 4 - Veiller à ce que tous puissent suivre une éducation de qualité dans des conditions d'équité et promouvoir les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie,
- L'ODD8 - Promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous,
- Et l'ODD9 - Mettre en place une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation.

Les ODD 7, 11 et 12 sont également traités dans certaines d'entre elles.

4 MOYENS MATERIELS

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 et grâce à un co-financement de l'OPCO 2i dans le cadre du soutien aux investissements des CFA, les robots TiaGO++ se déploient dans les campus. Une équipe projet, coordonnée par la DRI et la direction des programmes, a été créée pour son intégration et son déploiement.

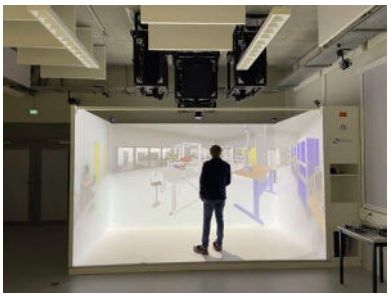
L'ensemble de ces plateformes est utilisé par les deux équipes de recherche et tous les enseignants-chercheurs des différents campus peuvent y accéder dans le cadre de leurs travaux.

4.1 PLATEFORME INDUSTRIE DU FUTUR (SITE DE ROUEN)

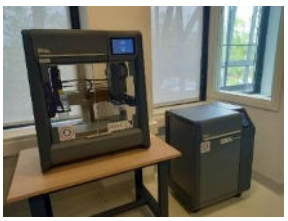
Le premier démonstrateur déployé sur le site de Rouen est constitué aujourd'hui :

- **D'un atelier flexible** constitué d'une chaine 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, d'un SPOT, de bras manipulateurs type UR5, UR10, UR16e et ABB et complété par des équipements de RA.

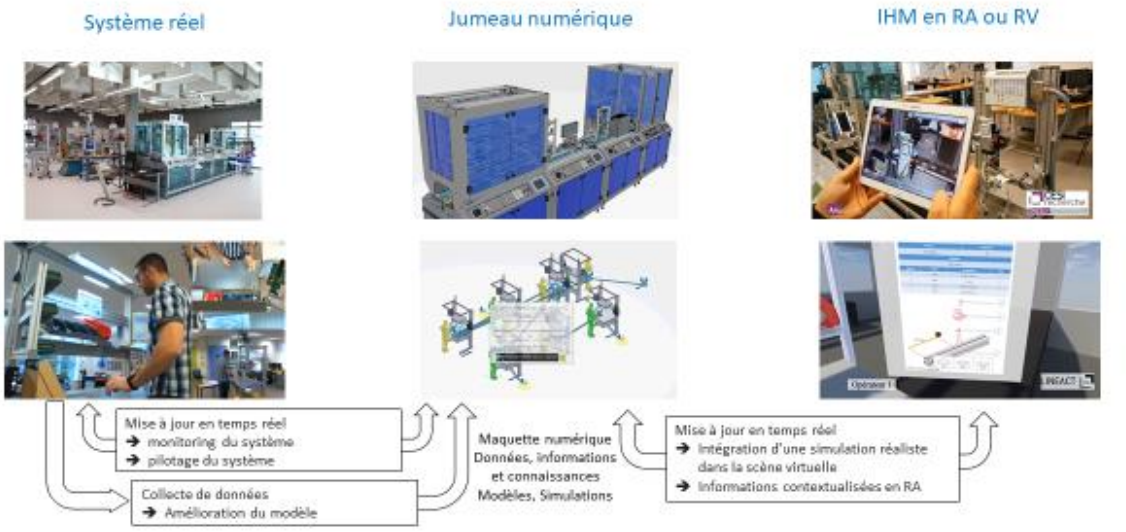
- **D'une salle de RV** accueillant un CAVE de la société Immersion, différents casques de RV et systèmes de captation



- **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 BATIMENT 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.

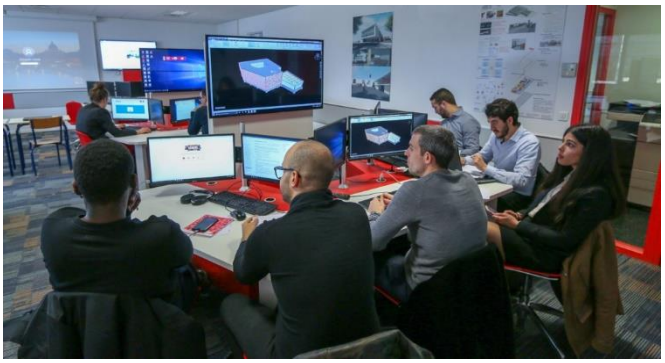
Le bâtiment, d'une superficie totale de 220 m², dispose de 4 salles ouvertes aux visiteurs à usage pédagogique et un bureau. Les salles pédagogiques sont dotées de chaises pédagogiques, favorisant l'engagement et la collaboration des élèves. D'autres salles sont utilisées à des fins techniques, notamment 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 chaine 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 :

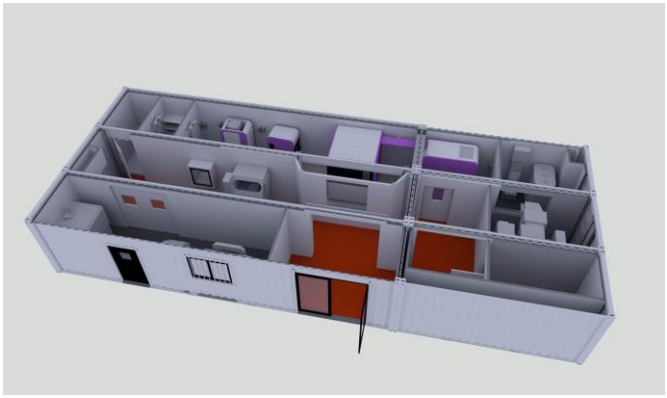
- Une zone de stockage permet d'isoler le stockage de matière première (la poudre) ainsi que les éléments contaminés sous scellés, afin de maitriser le risque lié à l'entreposage de ces produits
- Une zone dédiée à l'installation de postes informatiques, pour être en mesure de réaliser la conception 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 inoxydable, 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 industriel : 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 locale 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.

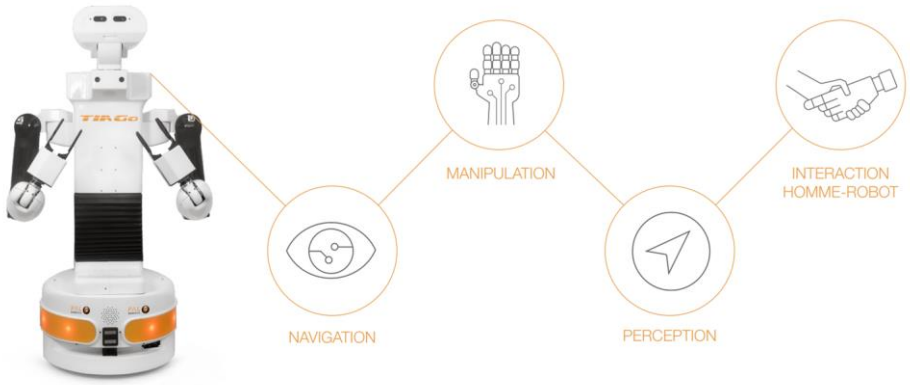
4.4 TIAGO

Grâce à un co-financement de l'OPCO 2i dans le cadre du soutien aux investissements des CFA, les robots TiaGO++ ont été déployés dans les campus. Une équipe projet, coordonnée par la DRI et la direction des programmes, a été créée pour son intégration et son déploiement.

Concernant la recherche, ils servent de support d'expérimentation pour des thèses de doctorat et projets de recherche.

Ils sont d'ores et déjà intégrés sur des projets de recherche existant notamment sur le projet SCOPES pour la réalisation de Datasets de collaboration inter-robots.

La multitude de ces capteurs et de ces actionneurs permet d'adresser les thématiques de navigation, perception, manipulation, interactions robots-robots dans le cadre des travaux de l'équipe "Ingénierie et outils numériques". Les TiaGO permettent également de réaliser des interactions homme-robot pour notamment traiter les travaux de l'équipe "Apprendre et Innover".



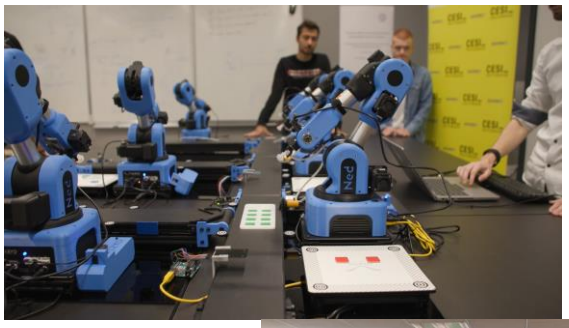
4.5 MICRO LEARNING FACTORIES

Initié en juin 2021, Le projet Micro Learning Factories (MLFs) repose sur l'idée de déployer au sein des campus CESI des plateformes qui visent à reproduire le plus fidèlement possible, à une échelle réduite, un système de production, à l'image de ceux implantés dans les industries manufacturières 4.0.

Dédiées aux activités de recherche et d'enseignement, les plateformes MLFs traitent des domaines de la robotique et de l'automatisation des systèmes industriels de production. Conçues par une équipe d'enseignants-chercheurs, d'ingénieurs de recherche et d'ingénieurs pédagogiques issus des campus CESI, les plateformes MLFs intègrent de nombreux équipements (bras robotisés 6-axes, convoyeurs, robots mobiles, capteurs et actionneurs, contrôleurs, superviseurs …) agrégés sur un plateau composé de 10 tables amovibles dans sa version la plus étendue.

Après avoir validé la preuve de concept fin 2022, réalisée dans le cadre du PIA Défi&Co, le projet MLF est entré en 2023 dans la phase 3 de sa feuille de route qui se concentre désormais sur le déploiement des plateformes MLFs sur les campus CESI partenaires du projet.

Le projet MLF mobilise aujourd'hui 9 campus CESI (Lyon, Rouen, Nanterre, Orléans, Toulouse, Arras, Reims, Strasbourg et Saint-Nazaire). Après avoir procédé aux déploiements des campus de Rouen, de Nanterre et d'Orléans en 2022, la plateforme MLF a été respectivement installée en mai et en juin 2023 sur les campus de Toulouse et Strasbourg. Le processus de déploiement a continué en juin 2023 à destination notamment des campus de Saint-Nazaire et Arras.



5 ANNEXE 1 : PUBLICATIONS

Articles

1. Abouelaziz I., Jouane Y. (2023). Photogrammetry and deep learning for energy production prediction and building-integrated photovoltaics decarbonization. *Building Simulation*. url: https://link.springer.com/article/10.1007/s12273-023-1089-y#citeas. DOI: https://doi.org/10.1007/s12273-023-1089-y. Réf. HAL: hal-04338006

2. Ahmad H., Tariq M., Yasin A., Razzaq S., Chaudhry M. A., Shaikh I. U. H., Ali A., Qaisar S. M., Iqbal J. (2023). Investigation of vibration's effect on driver in optimal motion cueing algorithm. *PLoS ONE*, 18(11)e0290705. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290705. Réf. HAL: hal-04352994 - OA hors HAL

3. Ayad I. A., Elwarraki E., Ali S. U., Qaisar S. M., Waqar A., Baghdadi M., Alzahrani A. (2023). Optimized Nonlinear Integral Backstepping Controller for DC-DC Three-Level Boost Converters. *IEEE Access*, . DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3274773. Réf. HAL: hal-04098781 - OA hors HAL

4. Baouya A., Ait Mohamed O., Ouchani S. (2023). Toward a context-driven deployment optimization for embedded systems: a product line approach. *Journal of Supercomputing*, 79(2):2180-2211. DOI: https://doi.org/10.1007/s11227-022-04741-8. Réf. HAL: hal-04108274

5. Basheer Y., Qaisar S. M., Waqar A., Lateef F., Alzahrani A. (2023). Investigating the Optimal DOD and Battery Technology for Hybrid Energy Generation Models in Cement Industry Using HOMER Pro. *IEEE Access*, 11:81331-81347. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3300228. Réf. HAL: hal-04353183 - OA hors HAL

6. Ben Letaifa L., Rouas J.-L. (2023). Variable Scale Pruning for Transformer Model Compression in End-to-End Speech Recognition. *Algorithms*, 16(9):398. DOI: https://doi.org/10.3390/a16090398. Réf. HAL: hal-04185908 - OA HAL

7. Bezoui M., Olteanu A.-L., Sevaux M. (2023). Integrating preferences within multiobjective flexible job shop scheduling. *European Journal of Operational Research*, 305(3). DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.07.002. Réf. HAL: hal-03760262 - OA HAL

8. Cuvelier L., Gasté M., Boudra L., Boursaly P., Flessel N., Grosstephan V., Poujol A. L., Monsel A., Nascimento A. (2023). Apprendre à perdre du temps : l'exemple d'espaces de discussion sur l'activité de travail. *Soins Cadres*, 32(141):10-13. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scad.2023.01.003. Réf. HAL: hal-04000815

9. Cuvelier L. (2023). Constructive activity and expansion of the object: cross-fertilization between activity theories. *Mind, Culture, and Activity*, 30(1):24-41. DOI: https://doi.org/10.1080/10749039.2023.2211804. Réf. HAL: hal-04302896

10. Cuvelier L., Fernagu S. (2023). Sujets capables et environnements capacitants: des cadres pour penser les situations d'apprentissage pour et dans le travail. *TransFormation. Recherches en éducation des adultes*, 1(25)https://transformations.univ-lille.fr/index.php/TF/issue/view/87. URL: https://transformations.univ-lille.fr/. Réf. HAL: hal-04105646 - OA HAL

11. Dallel M., Havard V., Dupuis Y., Baudry D. (2023). Digital twin of an industrial workstation: A novel method of an auto-labeled data generator using virtual reality for human action recognition in the context of human–robot collaboration. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 118:105655. DOI: https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105655. Réf. HAL: hal-04064208

12. Destouet C., Tlahig H., Bettayeb B., Mazari B. (2023). Flexible job shop scheduling problem under Industry 5.0: A survey on human reintegration, environmental consideration and resilience improvement.

Journal of Manufacturing Systems, 67:155-173. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.01.004. Réf. HAL: hal-04084373 - OA HAL

13. Da Silva E. H. P., De Barros S., Vieira A. F. C., Da Costa R. R. C., Ribeiro M. L. (2023). Accelerated Aging on the Compression Properties of a Green Polyurethane Foam: Experimental and Numerical Analysis. *Polymers*, 15(7):1784. DOI: https://doi.org/10.3390/polym15071784. Réf. HAL: hal-04239720 - OA HAL

14. El Jurdi R., Sekkat A. R., Dupuis Y., Vasseur P., Honeine P. (2023). Fully residual Unet-based semantic segmentation of automotive fisheye images: a comparison of rectangular and deformable convolutions. *Multimedia Tools and Applications*. DOI: https://doi.org/10.1007/s11042-023-16627-9. Réf. HAL: hal-04231805 - OA HAL

15. El Mounla K., Beladjine D., Beddiar K., Mazari B. (2023). Lean-BIM Approach for Improving the Performance of a Construction Project in the Design Phase. *Buildings*, 13. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings13030654. Réf. HAL: hal-04083081 - OA HAL

16. Elgharbi S. E., Iturralde M., Dupuis Y., Coulombier T., Menard M., Gaugue A. (2023). Multi-hop Wireless Transmission for Maritime Scenarios. *OCEANS 2023 - Limerick*, . DOI: https://doi.org/10.1109/OCEANSLimerick52467.2023.10244545. Réf. HAL: hal-04365107 - OA HAL

17. Feddoul Y., Ragot N., Duval F., Havard V., Baudry D., Assila A. (2023). Exploring human-machine collaboration in industry: a systematic literature review of digital twin and robotics interfaced with extended reality technologies. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 129(5-6):1917-1932. DOI: https://doi.org/10.1007/s00170-023-12291-3. Réf. HAL: hal-04305917

18. Fernagu S. (2023). Environnement capacitant et pouvoir d'agir :une grille de lecture utile pour manager les talents. *Soins Cadres*, 32(143):29-32. Réf. HAL: hal-04106993

19. Gîrboveanu A., Jebli M., Jamin F., Huon V., Bonnet L., Georgescu D., El Youssoufi M. S. (2023). Mechanical tensile behaviour of cement paste/aggregate bond exposed to leaching. *Construction and Building Materials*, 369:130592. DOI: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130592. Réf. HAL: hal-04071077

20. Ifa A., Guetat I. (2023). Save Infant's Live or Save Economic Growth? An Analysis by ARDL Approach: Case of India. *Energy Exploration and Exploitation*, 41(2):766-784. DOI: https://doi.org/10.1177/01445987221136396. Réf. HAL: hal-04098717

21. Ilahi T., Izhar T., Qaisar S. M., Shami U. T., Zahid M., Waqar A., Alzahrani A. (2023). Design and Performance Analysis of Ultra-Wide Bandgap Power Devices-Based EV Fast Charger Using Bi-Directional Power Converters. *IEEE Access*, 11:25285-25297. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3255780. Réf. HAL: hal-04093035 - OA hors HAL

22. Kammoun A., Slama R., Tabia H., Ouni T., Abid M. (2023). FNR-GAN: Face Normalization and Recognition with Generative Adversarial Networks. *Book cover Book cover International Conference on Image and Vision Computing New Zealand*, 13836:131-143. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25825-1_10. Réf. HAL: hal-04065654

23. Kammoun A., Slama R., Tabia H., Ouni T., Abid M. (2023). Generative Adversarial Networks for Face Generation: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 55(5):1-37. DOI: https://doi.org/10.1145/3527850. Réf. HAL: hal-04067884

24. Khaise M., De Barros S., Rohem N., Banea M., Budhe S. (2023). Numerical analysis of repaired wall loss defect pipelines for optimum composite wrap thickness. *Frattura ed Integrità Strutturale / Fracture and Structural Integrity*, 17(63):153-168. DOI: https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.63.14. Réf. HAL: hal-04108270 - OA hors HAL

25. Khandelwa S., Salankar N., Mian Qaisar S.*, Upadhyay J., Plawiak P. (2023). ECG based apnea detection by multirate processing hybrid of wavelet-empirical decomposition Hjorth features extraction and neural networks. *PLoS ONE*. Réf. HAL: hal-04353164

26. Krichen M., Basheer Y., Qaisar S. M., Waqar A. (2023). A Survey on Energy Storage: Techniques and Challenges. *Energies*, 16(5):2271. DOI: https://doi.org/10.3390/en16052271. Réf. HAL: hal-04093084 - OA hors HAL

27. Lailler M., Ahmed-Ali T., Magarotto E. (2023). Adaptive observer design for a class of delayed parabolic systems. *International Journal of Control*, . DOI: https://doi.org/10.1080/00207179.2023.2201639. Réf. HAL: hal-04138676

28. Maher A., Mian Qaisar S., Salankar N., Jiang F., Tadeusiewicz R., Pławiak P., Abd El-Latif A., Hammad M. (2023). Hybrid EEG-fNIRS brain-computer interface based on the non-linear features extraction and stacking ensemble learning. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 43(2):463-475. DOI: https://doi.org/10.1016/j.bbe.2023.05.001. Réf. HAL: hal-04354056 - OA hors HAL

29. Malik A., Khan M. Z., Qaisar S. M., Faisal M., Mehmood G. (2023). An Efficient Approach for the Detection and Prevention of Gray-Hole Attacks in VANETs. *IEEE Access*, . DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3274650. Réf. HAL: hal-04098777 - OA hors HAL

30. Melarkode N., Srinivasan K., Qaisar S. M., Plawiak P. (2023). AI-Powered Diagnosis of Skin Cancer: A Contemporary Review, Open Challenges and Future Research Directions. *Cancers*, 15(4):1183. DOI: https://doi.org/10.3390/cancers15041183. Réf. HAL: hal-04093088 - OA hors HAL

31. Nouinou H., Asadollahi-Yazdi E., Baret I., Nguyen N. Q., Terzi M., Ouazene Y., Yalaoui F., Kelly R. (2023). Decision-making in the context of Industry 4.0: Evidence from the textile and clothing industry. *Journal of Cleaner Production*, 391:136184. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136184. Réf. HAL: hal-04084558

32. Oberoi K. S., Del Mondo G.*, Gaüzère B., Dupuis Y., Vasseur P. (2023). Detecting dynamic patterns in dynamic graphs using subgraph isomorphism. *Pattern Analysis and Applications*. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10044-023-01145-z. DOI: https://doi.org/10.1007/s10044-023-01145-z. Réf. HAL: hal-04011116

33. Raza A., Zahid M., Chen J., Qaisar S. M., Ilahi T., Waqar A., Alzahrani A. (2023). A Novel Integration Technique for Optimal Location &amp¡ Sizing of DG Units With Reconfiguration in Radial Distribution Networks Considering Reliability. *IEEE Access*, 11:123610-123624. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3329704. Réf. HAL: hal-04353149 - OA hors HAL

34. Sadeghian Broujeny R., Ben Ayed S., Matalah M. (2023). Energy Consumption Forecasting in a University Office by Artificial Intelligence Techniques: An Analysis of the Exogenous Data Effect on the Modeling. *Energies*, 16(10):4065. DOI: https://doi.org/10.3390/en16104065. Réf. HAL: hal-04097230

35. Sanogo K., Mekhalef Benhafssa A., Sahnoun M., Bettayeb B., Abderrahim M., Bekrar A. (2023). A multi-agent system simulation based approach for collision avoidance in integrated Job-Shop Scheduling Problem with transportation tasks. *Journal of Manufacturing Systems*, 68:209-226. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.03.011. Réf. HAL: hal-04055057 - OA HAL

36. Subasi A., Mian Qaisar S.* (2023). EEG-based emotion recognition using modified covariance and ensemble classifiers. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. URL: https://doi.org/10.1007/s12652-023-04715-5. DOI: https://doi.org/10.1007/s12652-023-04715-5. Réf. HAL: hal-04352828

37. Toman S. H., Hamel L., Toman Z. H., Graiet M., Ouchani S. (2023). Formal modelling and verification of scalable service composition in IoT environment. *Service Oriented Computing and Applications*. DOI: https://doi.org/10.1007/s11761-023-00363-x. Réf. HAL: hal-04108552

38. Youness G.*, Aalah A. (2023). An Explainable Artificial Intelligence Approach for Remaining Useful Life Prediction. *Aerospace*, 10(5):1-23. DOI: https://doi.org/10.3390/aerospace10050474. Réf. HAL: hal-04102284 - OA HAL

39. Zaimen K., Moalic L., Brahmia M.-E., Abouaissa A., Idoumghar L. (2023). Algorithme hybride basé sur

NSGA-II pour le déploiement de réseaux de capteurs sans fil. *Bulletin de la ROADEF*. Réf. HAL: hal-04095465 - OA HAL

Communications

1. Abboud A., Brahmia M.-E., Abouaissa A., Shahin A., Mazraani R. (2023). A Hybrid Aggregation Approach for Federated Learning to Improve Energy Consumption in Smart Buildings, *2023 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, 19-23 juin 2023, Marrakesh (Maroc). 854-859.. DOI: https://doi.org/10.1109/IWCMC58020.2023.10183138. Réf. HAL: hal-04189156

2. Ahmed T., Qaiser S. M., Waqar A. (2023). A Secured Blockchain Framework for Healthcare Data Management System, *2023 International Conference on IT and Industrial Technologies (ICIT)*, 9-10 octobre 2023, Chiniot (Pakistan). *2023 International Conference on IT and Industrial Technologies (ICIT)*.. DOI: https://doi.org/10.1109/ICIT59216.2023.10335863. Réf. HAL: hal-04352951

3. Al Sayed K.*, Boodi A., Sadeghian Broujeny R., Beddiar K. (2023). Reinforcement Learning for Optimal HVAC Control: From Theory to Real-World Applications, *IECON 2023- 49th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 16-19 octobre 2023, Singapore (Singapour). 1-6.. DOI: https://doi.org/10.1109/IECON51785.2023.10312131. Réf. HAL: hal-04290855

4. Alboody A., Qaisar S. M., Roussel G. (2023). Artificial Intelligence Assistive Fire Detection and Seeing the Invisible Through Smoke using Hyperspectral and Multi-spectral Images, *13th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT)*, 26-28 septembre 2023, Lviv (Ukraine).. Réf. HAL: hal-04220125 - OA HAL

5. Ali M., Qaisar S. M., Anurulafchar T. (2023). Hybridization of Wavelet Decomposition and Machine Learning for Brain Waves based Emotion Recognition, *2023 1st International Conference on Advanced Innovations in Smart Cities (ICAISC)*, 23-25 janvier 2023, Jeddah (Arabie Saoudite). 1-5.. DOI: https://doi.org/10.1109/ICAISC56366.2023.10085288. Réf. HAL: hal-04093070

6. Alyoucef A., Qaisar S. M., Hafsi M. (2023). Rechargeable Battery State Estimation Based on Adaptive-Rate Processing and Machine Learning, *2023 1st International Conference on Advanced Innovations in Smart Cities (ICAISC)*, 23-25 janvier 2023, Jeddah (Arabie Saoudite). 1-6.. DOI: https://doi.org/10.1109/ICAISC56366.2023.10085242. Réf. HAL: hal-04084236

7. Asadollahiyazdi E., Baret I., Nouinou H., Terzi M., Nguyen N. Q., Ouazene Y., Yalaoui F., Kelly R. (2023). Toward Textile 4.0: a Comprehensive Analysis of Industrial Perspectives for the Textile Industry, *CIGI QUALITA MOSIM 2023*, 14-16 juin 2023, Québec (Canada).. Réf. HAL: hal-04093881

8. Asrar M., Bawazir J., Khan S., Qaisar S. M. (2023). Heart Disease Identification Based on Butterfly Optimization and Machine Learning, *2023 International Conference on Smart Computing and Application (ICSCA)*, 5-6 février 2023, Hail (Arabie Saoudite). 1-7.. DOI: https://doi.org/10.1109/ICSCA57840.2023.10087885. Réf. HAL: hal-04092804

9. Bellal S. E., Sahnoun M., Benatia M. A., Mouss L. H. (2023). Prototype of the Solution with a View to Industrialization, *2023 International Conference On Cyber Management And Engineering (CyMaEn)*, 26-27 janvier 2023, Bangkok (Thaïlande). *2023 International Conference On Cyber Management And Engineering (CyMaEn)*, 364-369.. DOI: https://doi.org/10.1109/CyMaEn57228.2023.10050928. Réf. HAL: hal-04069999

10. Bettayeb B., Ben-Ammar O., Dolgui A. (2023). Planification multi-période, multi-sourcing d'approvisionnements avec délais stochastiques, prix dégressifs et coûts de flexibilité de livraison, *ROADEF 2023 : 24ème congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision*, 20-23 février 2023, Rennes (France).. Réf. HAL: hal-04006494 - OA HAL

11. Biancardi B., Duan Y., Chollet M., Clavel C. (2023). It's not Just What You Do but also When You Do It: Novel Perspectives for Informing Interactive Public Speaking Training, *International Conference on Human Computer Interaction Theory and Applications*, 19-21 février 2023, Lisbonne (Portugal). 193-200.. DOI: https://doi.org/10.5220/0011680400003417. Réf. HAL: hal-04087415 - OA hors HAL

12. Biancardi B., Chollet M., Clavel C. (2023). Introducing the 3MT_French Dataset, *1st International Multimodal Communication Symposium*, 26 avril 2023, Barcellona (Espagne).. Réf. HAL: hal-04087420

13. Brahami M. A., Bettayeb B., Sahnoun M. (2023). Sustainable and Flexible Hub Location Problem, *2023 International Conference On Cyber Management And Engineering (CyMaEn)*, 26-27 janvier 2023, Bangkok (Thaïlande). 544-549.. DOI: https://doi.org/10.1109/CyMaEn57228.2023.10050887. Réf. HAL: hal-04069961

14. Cedric F., Fernagu S. (2023). Implication de l'usage des jumeaux numériques sur l'enseignement et l'apprentissage professionnels, *Stratégies numériques pour la promotion des compétences universitaires et scolaires du XXIe siècle : Design de nouveaux espaces digitaux et virtuels d'apprentissage et de formation*, Nice (France).. URL: http://pod.univ-cotedazur.fr/video/16519-fernagu-jumeaux-numeriquesv2mp4/. Réf. HAL: hal-04105641

15. Davies M., Buisine S. (2023). Can Teal practices increase employees' work engagement? , *19th European Conference on Management Leadership and Governance - ECMLG 2023*, 23-24 novembre 2023, London (Royaume-Uni). *ECMLG 2023- Proceedings of the 19th European Conference on Management Leadership and Governance*.. Réf. HAL: hal-04172967 - OA HAL

16. Davies M., Moulinet M., Buisine S. (2023). Innovation culture in French organisations, *18th European Conference on Innovation and Entrepreneurship - ECIE 2023*, 21-22 septembre 2023, Porto (Portugal). *Proceedings of the 18th European Conference on Innovation and Entrepreneurship*.. Réf. HAL: hal-04085432 - OA HAL

17. Destouet C., Bettayeb B., Tlahig H., Mazari B. (2023). A MILP for Green Scheduling Integrating Human Factors, *ROADEF 2023: 24ème congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision*, 20 février-23 mars 2023, Rennes (France).. Réf. HAL: hal-04028172 - OA HAL

18. Destouet C., Tlahig H., Bettayeb B., Mazari B. (2023). NSGA-II for Solving a Multi-objective, Sustainable and Flexible Job Shop Scheduling Problem, *APMS 2023: Production Management Systems for Responsible Manufacturing, Service, and Logistics Futures*, 17-21 septembre 2023, Trondheim (Norvège) (Norvège). 691 548-562.. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-43670-3_38. Réf. HAL: hal-04208130 - OA HAL

19. Fernagu S. (2023). Définir et mettre en œuvre une pédagogie de l'alternance : vers la construction d'indicateurs d'efficacité, *Journées de l'apprentissage de l'enseignement catholique*, 16 mai 2023, Beffroi de Montrouge, Paris (France).. Réf. HAL: hal-04117502

20. Fidma M. A. M.*, Hamour N., Ouchani S., Benslimane S. M. (2023). Hybrid Data-driven and Knowledge-based Predictive Maintenance Framework in the Context of Industry 4.0, *12th International Conference on Model and Data Engineering*, 2-4 novembre 2023, Sousse (Tunisie). 319–337.. Réf. HAL: hal-04337484

21. Fleury S., Cedric F., Mraihi S. (2023). Enseigner "à" et "avec" les jumeaux numériques., *Colloque Espaces physiques et numériques d'apprentissage*, Paris (France).. Réf. HAL: hal-04105703

22. Havard V., Courallet A., Baudry D., Delalin H. (2023). Digital Twin, Virtual Reality and OPCUA-based architecture for pedagogical scenarios in Manufacturing and Computer Sciences curriculum, *3th Conference on Learning Factories, CLF 2023*, 9-11 mai 2023, Reutlingen (Allemagne).. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.4457032. Réf. HAL: hal-04108079

23. Hossini A., Kloul L., Boulakia B. C. (2023). Fault Prediction in a Smart Building Lighting System, *33rd European Safety and Reliability Conference*, 3-7 septembre 2023, Southampton (U.K.) (Royaume-Uni). 986-993.. DOI: https://doi.org/10.3850/978-981-18-8071-1_P303-cd. Réf. HAL: hal-04256446 - OA hors HAL

24. Hémono P., Sahnoun M., Nait Chabane A. (2023). Optimizing Resource Allocation in the Flexible Job Shop Problem: Assessing the Impact of Rest Breaks on Task Strenuousness Reduction, *International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA)*, 16-17 septembre 2023, Annaba (Algérie). *IEEE*, 320-325.. DOI: https://doi.org/10.1109/DASA59624.2023.10286783. Réf. HAL: hal-04247095 - OA HAL

25. Jouane Y., Sow M. C., Oussous O., Vontobel N., Zghal M. (2023). Forecasting Photovoltaic Energy for a Winter House Using a Hybrid Deep Learning Model, *2023 12th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 29 août-1 septembre 2023, Oshawa (Canada). 1-5.. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10269444. DOI: https://doi.org/10.1109/ICRERA59003.2023.10269444. Réf. HAL: hal-04338095

26. Kanthila C.*, Boodi A., Beddiar K., Amirat Y., Benbouzid M. (2023). Occupancy Prediction in Buildings Using Cascaded LSTM Model, *IECON 2023- 49th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 16-19 octobre 2023, Singapore (Singapour). 1-6.. DOI: https://doi.org/10.1109/IECON51785.2023.10311629. Réf. HAL: hal-04290828

27. Khan S., Qaisar S. M., López A., Nisar H., Ferrero F. (2023). EEG Signal based Schizophrenia Recognition by using VMD Rose Spiral Curve Butterfly Optimization and Machine Learning, *2023 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 22-25 mai 2023, Kuala Lumpur (Malaisie). 1-6.. DOI: https://doi.org/10.1109/I2MTC53148.2023.10176074. Réf. HAL: hal-04354032

28. Lakehal L., Davies M., Di Stefano V., Marras P., Buisine S. (2023). Building a Positive Corporate Governance, *19th European Conference on Management Leadership and Governance - ECMLG 2023*, 23-24 novembre 2023, London (Royaume-Uni). *Proceedings of the 19th European Conference on Management Leadership and Governance*.. Réf. HAL: hal-04173314 - OA HAL

29. López A., Qaisar S. M., Ferrero F., Nisar H. (2023). An Affordable EOG-based Application for Eye Dystonia Evaluation, *2023 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 22-25 mai 2023, Kuala Lumpur (Malaisie). 1-5.. DOI: https://doi.org/10.1109/I2MTC53148.2023.10175944. Réf. HAL: hal-04354002

30. Magarotto E., Dorléans P., Ahmed-Ali T. (2023). Sampled-data observer for supercapacitor parameters estimation under NEDC cycles, *2023 9th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 2-6 juillet 2023, Rome (Italie).. Réf. HAL: hal-04138716

31. Nait Chabane A., Hémono P., Sahnoun M., Benali A. (2023). Fatigue Evaluation and Scheduling for Manual Tasks: A Break Planning Approach, *50th International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE 50)*, 30 octobre-2 novembre 2023, Sharjah (Émirats Arabes Unis). *CIE50 Proceedings, October 30-November 2, 2023 American University of Sharjah, UAE*.. Réf. HAL: hal-04273200

32. Nassir J., Alasabi M., Qaisar S. M., Khan M. (2023). Epileptic Seizure Detection Using the EEG Signal Empirical Mode Decomposition and Machine Learning, *2023 International Conference on Smart Computing and Application (ICSCA)*, 5-6 février 2023, Hail (Arabie Saoudite). 1-6.. DOI: https://doi.org/10.1109/ICSCA57840.2023.10087614. Réf. HAL: hal-04092832

33. Ndao M.-L., Youness G., Niang N., Saporta G. (2023). Une revue systématique de la littérature autour du biais, de l'équité et de l'explicabilité, *CNIA 2023 - Conférence Nationale en Intelligence Artificielle*, 3-7 juillet 2023, Strasbourg (France). 87-98.. URL: https://pfia23.icube.unistra.fr/conferences/cnia/index.html. Réf. HAL: hal-04158443 - OA HAL

34. Ndao M.-L., Niang N., Youness G., Saporta G. (2023). Consensus de partitions en NLP pour une revue systématique de la littérature autour de l'XAI du biais et de l'équité, *SFC'2023; Rencontres de la Société Francophone de Classification*, 6-7 juillet 2023, Strasbourg (France). *Rencontres de la Société Francophone de Classification*, 43-48.. URL: https://pfia23.icube.unistra.fr/conferences/sfc/. Réf. HAL: hal-04158417 - OA HAL

35. Pillon E. (2023). Exploring the Activities and Outcomes of Living Labs: Insights for meeting stakeholder expectations, *WOIC 2023*, 9-10 novembre 2023, Bilbao (France).. Réf. HAL: hal-04281582 - OA HAL

36. Qaisar S. M., Alboody A., Aldossary S., Alhamdan A., Moahammad N., Almaktoom A. T. (2023). Machine Learning Assistive State of Charge Estimation of Li-Ion Battery, *2023 IEEE 13th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT)*, 26-28 septembre 2023, Lviv (Ukraine).. DOI: https://doi.org/10.1109/ELIT61488.2023.10310833. Réf. HAL: hal-04353126

37. Salima M., M'Hammed S., Messaadia M., Benslimane S. M. (2023). Context aware human machine interface for decision support, *2023 International Conference On Cyber Management And Engineering (CyMaEn)*, 26-27 janvier 2023, Bangkok (Thaïlande). 143-147.. DOI: https://doi.org/10.1109/CyMaEn57228.2023.10051078. Réf. HAL: hal-04069973

38. Savarit G., Pillon E., Louis A. (2023). Real-life experiments and business model innovation process: lessons from the Living Lab literature, *EURAM (European Academy of Management) Annual Conference 2023*, 14-16 juin 2023, Dublin (Irlande).. Réf. HAL: hal-04135038 - OA HAL

39. Slama R., Slama I., Slangen P., Ben-Ammar O.* (2023). Advancing Human-robot Interaction in a Manufacturing Environment by Incorporating Hand Movements for Remote Control, *IEEE ICNSC 2023 - 20th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, 25-27 octobre 2023, Marseille (France).. Réf. HAL: hal-04267721 - OA HAL

40. Swessi R., Khalfi Z. E., Jemili I., Mosbah M. (2023). Free-Floating Micro-mobility Smart Redistribution Using Spatio-temporal Demand Forecasting, *2023 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, 26-28 avril 2023, Istanbul (Turquie). *2023 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, 73-80.. DOI: https://doi.org/10.1109/VNC57357.2023.10136284. Réf. HAL: hal-04114850 - OA HAL

41. Talib R. A., Qaisar S. M., Fatayerji H., Waqar A. (2023). Features Mining and Machine Learning for Home Appliance Identification by Processing Smart meter Data, *2023 1st International Conference on Advanced Innovations in Smart Cities (ICAISC)*, 23-25 janvier 2023, Jeddah (Arabie Saoudite). 1-6.. DOI: https://doi.org/10.1109/ICAISC56366.2023.10085074. Réf. HAL: hal-04092857

42. Toupin C., Fabiao E., Cuvelier L. (2023). Les facteurs organisationnels et émotionnels éclairant la sous-utilisation des aides au transfert en EHPAD, *57ème Congrès de la SELF, Développer l'écologie du travail : Ressources indispensables aux nouvelles formes de souverainetés*, 17-19 octobre 2023, Saint -Denis de La Réunion (France). *Actes du 57ème Congrès de la SELF*.. Réf. HAL: hal-04126957

43. Toupin C., Florenty A., Cuvelier L. (2023). Temps contraints, temps gagnés, temps libérés : une intervention sur la santé et la temporalité du travail en EHPAD au sein du pôle hébergement., *Congrès de la SELF*, 17-19 octobre 2023, Saint-Denis de la Réunion (France). *Actes du 57ème Congrès de la SELF, Développer l'écologie du travail : Ressources indispensables aux nouvelles formes de souverainetés*.. Réf. HAL: hal-04126920

44. Zaimen K., Brahmia M.-E., Moalic L., Abouaissa A., Idoumghar L. (2023). A Comparative Study of Meta-Heuristic Algorithms for WSN Deployment Problem in Indoor Environments, *2023 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 1-5 juillet 2023, Chicago (États-Unis). 1-8.. DOI: https://doi.org/10.1109/CEC53210.2023.10254142. Réf. HAL: hal-04230156

45. Zaimen K., Moalic L., Brahmia M.-E., Abouaissa A., Idoumghar L. (2023). Connectivity Repair Heuristics for Stationary Wireless Sensor Networks, *IEEE International Conference on Communications*, 28 mai-1 juin 2023, Rome (Italie). 4804-4809.. DOI: https://doi.org/10.1109/ICC45041.2023.10278851. Réf. HAL: hal-04065704 - OA HAL

Ouvrages et chapitres d'ouvrages

1. Qaisar S. M., Nisar H., Subasi A. (2023). Advances in Non-Invasive Biomedical Signal Sensing and Processing with Machine Learning, *in* Springer (dir.), Cham, Springer, Springer International Publishing , 1-373. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-23239-8. Réf. HAL: hal-04092915

6 ANNEXE 2 : PROJETS AU SEIN DE CESI LINEACT

6.1 JENII - JUMEAUX D'ENSEIGNEMENT NUMERIQUES, IMMERSIFS ET INTERACTIFS

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 : 4 ans

Résumé :

Le projet **JENII** (**J**umeaux d'**E**nseignement **N**umériques, **I**mmersifs et **I**nteractifs), 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 4 ans a débuté en Novembre 2021.

L'ambition du projet est de proposer une offre de formation spécifique pour l'industrie du futur et 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

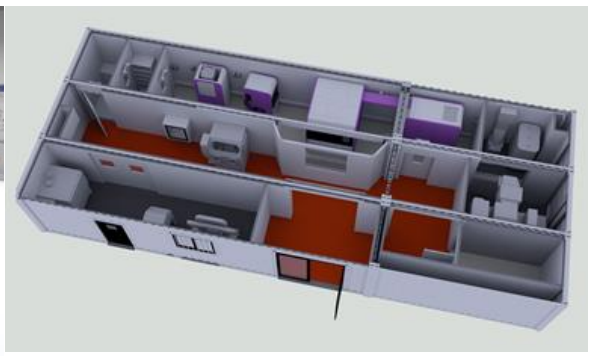
acteurs du projet sont investis dans la formation technologique, initiale et professionnelle, à différents niveaux (ingénieurs, techniciens) dans une logique de réseau national. Ils ont chacun une proximité forte avec le monde industriel (formation et recherche). Enfin, le projet intègre sur l'ensemble 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 CESI LINEACT 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.

3 doctorants sont co-encadrés par CESI LINEACT dans le cadre de JENII.

NOM	prénom	Encadrants	Année de début de thèse	Titre de la thèse
BONDESAN	Pierre	S. RICHIR, ENSAM S. FLEURY, ENSAM A. BOISADAN, CESI	2022	Evaluation de l'efficacité pédagogique des jumeaux numériques en environnements virtuels immersifs
FACON	Cédric	S. FERNAGU, CESI	2021	Environnements instrumentés d'apprentissage
FEDDOUL	Yassine	F. DUVAL, CESI N. RAGOT, CESI V. HAVARD, CESI	2022	Informations contextuelles du jumeau numérique en perception augmentée pour la robotique industrielle et la collaboration humain-robot

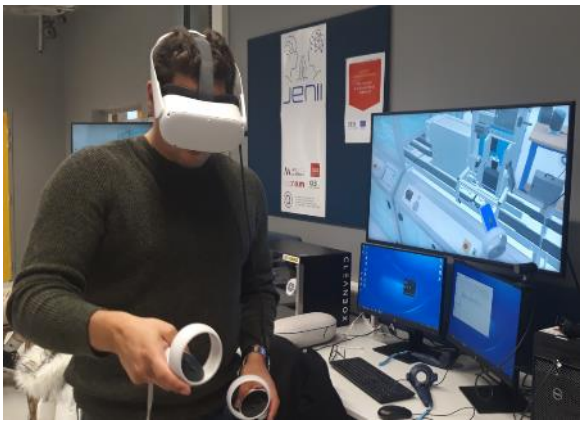


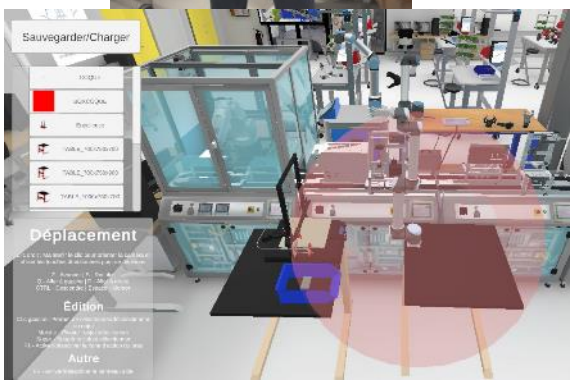
Les plateformes CESI

Dans ce projet, la stratégie de CESI est de penser de nouvelles modalités de formation en donnant accès à des environnements industriels réels et complexes à distance, sans risque pour les étudiants et le matériel, en développant les jumeaux numériques des démonstrateurs "Industrie du futur" des plateformes technologiques développées par CESI LINEACT.

Ces jumeaux numériques intègrent notamment des travaux scientifiques de CESI LINEACT portant sur sur des architectures interopérables et flexibles entre le jumeau numérique immersif et le jumeau physique. Ils s'appuient également sur la proposition du Framework INTERVALES de développement pour la réalité virtuelle et la réalité augmentée permettant l'édition de procédures et scénarios métiers dans un contexte industriel et initié dans le cadre d'une thèse CIFRE avec Assytem (Ex Oreka Ingénierie). Ces travaux font également l'objet d'étude à CESI LINEACT sur les dimensions pédagogiques et d'usages des jumeaux numériques interfacés en XR pour les formations.

Pour illustrer les travaux réalisés dans le cadre du projet JENII, une première version de l'environnement développé a été déployée dans le projet système automatisé en 4ème année du programme ingénieur touchant plus de 1000 étudiants. Grâce au travail en collaboration avec la DSI, ils ont eu accès à une version clavier/souris de l'environnement accessible depuis Internet permettant de mieux s'approprier le contexte du projet et ensuite d'interagir avec l'environnement pour y intégrer leurs réflexions (automatisation d'un poste de travail sur une chaîne d'assemblage en menant une réflexion sur son ergonomie pour l'opérateur associé). Ils ont pu ensuite évaluer la pertinence de leurs réflexions en évaluant leurs solutions dans la réalité virtuelle en centre.





6.2 SCOPES- SEMANTIQUE COLLABORATIVE POUR UNE PERCEPTION EVIDENTIELLE DE SITUATION

Partenaires : CESI LINEACT, 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 : 1er 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 sureté 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.

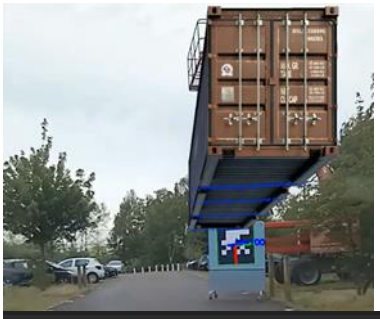
Le projet SCOPES propose de développer une solution de production de vue de situation augmentée par l'incertitude comme source d'information décisionnelle. Les contributions du projet seront :

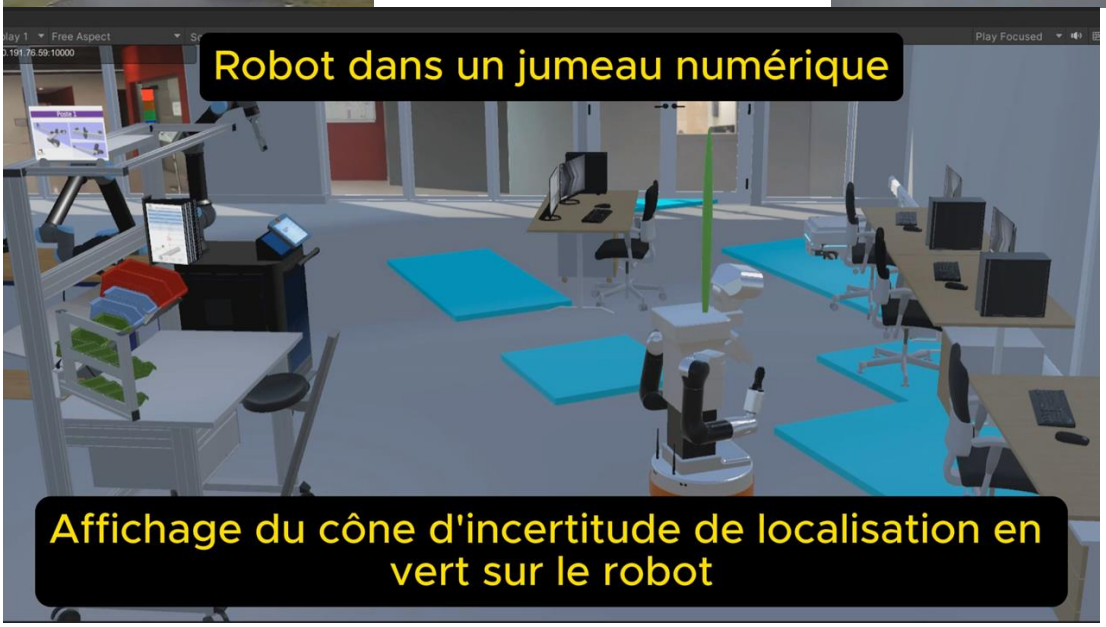
- Un formalisme de représentation de la vue de situation, intégrant les différentes sources d'incertitudes, permettant une interprétation par l'humain,
- Une méthode robuste de localisation basée sur le paradigme des graphes et l'information sémantique fournie par chaque agent,
- Une spécification fonctionnelle 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).

Réalisations au 31 décembre 2023 :

- Etude, formalisation et déploiement de grilles d'occupation évidentielles.
- Librairie d'augmentation multimodale.
- Librairie de visualisation d'incertitude dans le jumeau numérique 3D.
- Une communication en conférence sur l'apprentissage fédéré pour le suivi d'objet collaboratif.
- Un article de journal soumis sur le déploiement de grilles d'occupation évidentielle en environnement extérieur.




Robot dans un jumeau numérique
Affichage du cône d'incertitude de localisation en vert sur le robot

6.3 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 : 1er 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 telles 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 31 mars 2023 (fin du projet) :

Durant ce projet, **n**ous avons 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 sur un rapport en français et en anglais. Les résultats de ce travail ont été présentés lors d'un atelier dédié. Nous avons également procédé à une revue de la littérature sur l'impact de Covid-19 sur les PME et la résilience des entreprises, puis synthétiser les résultats dans un rapport de synthèse. Les résultats de ce travail ont été présentés lors d'un atelier ainsi que lors de l'événement de lancement. Nous avons interviewé ensuite 13 PME pour identifier les perturbations générées par la pandémie dans leur modèle d'entreprise, l'impact sur leur modèle d'entreprise et les réponses adoptées par les PME plus résilientes. La revue de la littérature ainsi que les interviews nous ont permis d'identifier 5 profils de résilience et définir ainsi un indice de résilience. L'ensemble des résultats a permis de créer un outil d'autodiagnostic de la résilience avec des recommandations pour les indices faibles. L'outils a ensuite été déployé auprès de 33 PME et 52 firmes. Pour finir, un site internet https://c-caretoolkit.fr/ a été développé pour héberger le toolkit développé et l'ensemble des résultats ont été présentés lors de l'évènement de clôture.

6.4 LABEL D'EXCELLENCE CAMPUS DES METIERS ET DES QUALIFICATION AERONAUTIQUE 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 : 1er 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 2023, les avancées sont les suivantes :

- Poursuite de l'élaboration du modèle d'analyse autour du pouvoir d'agir avec la sélection et définition des dimensions à observer.
- Choix du terrain d'enquête : cycle préparatoire de CESI.
- Observation des situations d'apprentissage et exploration des outils à disposition dans la formation pour la préparation d'un guide d'entretien.
- Passation d' entretiens semi-directifs auprès des élèves.
- Présentation des travaux lors du colloque international 'La formation à Distance, Résolument ?' en octobre 2022.
- Présentation d'un poster scientifique dans le cadre de The 11th European Conference on Education 2023, en juillet 2023.

CAMPUS DES MÉTIERS
ET DES QUALIFICATIONS
Aéronautique et spatial Occitanie

6.5 FUSION - FRAMEWORK FOR UNIVERSAL SOFTWARE INTEGRATION IN OPEN ROBOTICS

Partenaires : Assystem, CESI, Conscience Robotics.
Appel à projet : Idemo régionalisé

Budget CESI du projet : 564 k€

Lancement du projet : 14 novembre 2023
Durée du projet : 48 mois

Résumé du projet :

L'explosion de la robotique et de ses usages a conduit les fabricants de robots à développer leur propre logiciel de programmation pour doter leurs machines de capacités d'intelligence. Néanmoins, ces environnements de programmation, souffrent de certaines limites : ils sont très souvent propriétaires et ne sont donc pas ouverts pour accéder aux couches basses de programmation ; l'interopérabilité entre différents robots est difficile puisque chaque robot dispose de son propre environnement de programmation.

Pour remédier à ces contraintes, les middleware robotiques sont apparus dès le début des années 2000. Le concept est simple : le middleware robotique est une surcouche logicielle, installable sur un système d'exploitation existant (type Linux ou Windows), qui contient en natif des outils et librairies génériques pour faciliter la programmation des capacités d'intelligence des robots.

En 2015, Magyar et al. proposent une étude comparative des 4 principaux middlewares robotiques : RT-Middleware, ROS, OPRoS et Orocos. Un travail analogue et plus complet a été entrepris par Sahni et al. en 2019. Les auteurs identifient alors 14 principaux middlewares et référencent : les outils et librairies intégrés en natif ; ceux qui ne le sont pas ; le système d'exploitation et langage de programmation ; le mode de transmission des données (synchrone / asynchrone).

De tous, ROS (Robot Operating System) développé en 2009 par Quinley et al. dans le cadre du projet STAIR, est le middleware le plus utilisé dans la communauté scientifique et probablement au sein des entreprises. Malgré l'extrême popularité de ce logiciel, force est de constater qu'il n'est réservé qu'à un **public disposant d'une expertise très forte en robotique et en programmation** puisqu'il ne dispose d'**aucune interface graphique**, que **l'ensemble des opérations s'effectuent en lignes de commande et qu'il n'intègre pas à ce jour les nouvelles technologies en eXtend Reality** (réalité virtuelle, réalité augmentée, réalité mixte) **qui ouvrent de nouvelles perspectives en interactions humain-robot.**

C'est dans ce cadre que se positionne le projet FUSION dont l'objectif principal est de **démocratiser l'usage de la robotique** en opérant une véritable révolution pour mettre l'utilisateur au centre du système, par :

- L'introduction de la XR pour la conception de missions robotiques et la télé-opération de robots via le jumeau numérique,
- La réutilisation et le partage de briques logicielles disponibles à tous,
- Une approche innovante de **perception robotique par carte sémantique** pour la mise à jour du jumeau numérique, rendant les robots toujours plus autonomes.

Notre ambition est de moderniser l'industrie en mettant à la portée de n'importe quel utilisateur l'utilisation d'un système robotique avec le support de l'Intelligence Artificielle et de la XR.

Nos objectifs sont donc les suivants :

- Mettre à disposition des concepteurs un environnement de développement intégré (ou **IDE**) permettant de créer et partager des fonctionnalités robotiques de haut niveau (appelées **compétences**), basé sur des briques robotiques réutilisables, de façon intuitive.
- Rendre accessible à tous les utilisateurs de robot les **compétences** sur un **Store universel**
- Intégrer une **perception robotique** basée sur la reconnaissance de l'environnement et le concept de **cartes sémantiques** pour une **navigation autonome** de nouvelle génération et une mise à jour efficace des **jumeaux numériques** de l'environnement.

- Créer des **interfaces de eXtended Reality (ou XR)** associées aux jumeaux numériques qui permettent à un concepteur, dans le cadre de compétences robotiques, ou à un utilisateur métier de programmer et manipuler le robot avec une IHM novatrice.
- Démontrer la pertinence de l'innovation au travers d'un **cas d'application concret** mettant en œuvre toutes les techniques citées ci-avant pour répondre à un besoin pour la **filière nucléaire** avec un robot programmé et contrôlé par la **XR** et l'**IDE**.

Les principales réalisations du projet FUSION début 2024 sont :

- Réalisation d'un état de l'art sur l'estimation de la pose d'objets industriels peu texturés basés sur le NeRF (Neural Radiance Field) et le iNeRF.
- Conception et évolution du framework NEURONES permettant la définition de missions robotiques et leurs réalisations.
- Développement d'interfaces en XR pour la définition de missions robotiques afin de permettre à un utilisateur ne sachant pas programmer des robots de définir ses missions, telles que : se déplacer à un endroit, identifier un objet et récupérer un objet (voir Figure 1). Les développements proposés doivent par ailleurs s'intégrer au Framework INTERVALES et s'interfacer à l'environnement de Conscience Robotics.
- Connexion du framework NEURONES aux API de Conscience Robotics permettant la communication entre l'interface XR et les robots physiques.
- Mise en place de démonstrateurs permettant la prise de contrôle de robot à distance au travers de l'interface en XR.

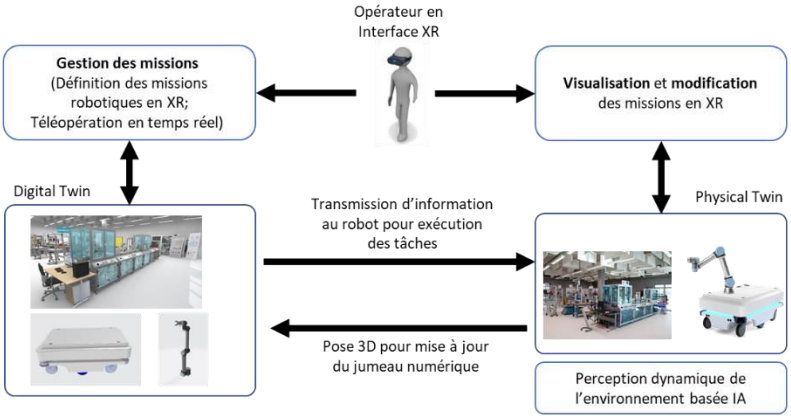


Figure 1: Couplage Jumeau numérique interfacé en XR et perception robotique

Ressources humaines :

- Recrutement du doctorant Sunil Choudary pour le WP2 – Reconnaissance d'objets industriels et estimation de la pose 3D pour la mise à jour du jumeau numérique.
- 1 stage de 4 mois réalisé par Florian Maillard
- 1 stage de 4 mois en cours réalisé par Léo Vauthier

6.6 ANTIHPERT - OPERATEUR 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 : 1er octobre 2021
Durée du projet : 42 mois

Résumé du projet :

Les systèmes de production axés sur l'humain représentent le nouvel objectif de la révolution industrielle. Il est important de comprendre le comportement de l'opérateur humain et d'être capable de le modéliser afin de concevoir des systèmes de production qui puissent le comprendre, atténuer les effets de sa variabilité, et anticiper son imprévisibilité.
Dans cette optique, le projet AntiHpert vise à développer des approches basées sur les données et la modélisation stochastique pour améliorer le fonctionnement des systèmes d'information d'entreprise existants tels que les ERP et les MES, en les rendant plus réactifs face aux aléas. La mise en place de cette approche permettra de surmonter plusieurs défis technologiques et scientifiques, que nous résumons dans les trois étapes suivantes :

- Détection minimale et non invasive des perturbations : L'objectif de cette étape concerne les technologies et les techniques utilisées pour la collecte des données relatives à l'opérateur humain. Deux contraintes majeures sont liées à ces développements, à savoir l'invasivité et le coût. En effet, ces développements sont destinés aux PME qui ne peuvent pas supporter des coûts très élevés et font face à la résistance au changement de la part des opérateurs. Le système doit être capable de détecter les signes d'une dégradation de la qualité ou du temps opératoire à venir.
- *Modélisation du comportement humain :* Afin d'anticiper les perturbations principalement causées par l'opérateur humain, il est nécessaire de définir un modèle de comportement spécifique à chaque opérateur, en plus des modèles dynamiques de comportement des outils de production. Il est donc essentiel de développer des modèles de comportement basés sur la modélisation stochastique ou sur l'intelligence artificielle. Plusieurs aspects doivent être pris en compte dans le comportement de l'opérateur humain, tels que la ponctualité, l'expérience et la motivation.
- *Actions proactives :* Une fois que la dérive du système a été prédite avec une précision suffisante, des mesures correctives doivent être mises en place pour prévenir ou atténuer ces perturbations. Des algorithmes d'ordonnancement dynamique optimal doivent être développés pour proposer les prochaines actions correctives. De plus, une interface homme-machine intelligente doit être développée pour faciliter l'interprétation de ces nouvelles directives d'ordonnancement.

Un consortium complémentaire travaille en étroite collaboration sur ces activités de recherche, avec plusieurs actions et encadrements en commun.

Réalisations au 31 mai 2023 :

Le projet a progressé sur plusieurs aspects théoriques, pratiques et de dissémination durant cette période. Sur le plan pratique, nous avons mis en place un système de collecte de données lors de l'exécution d'un processus de production ou de maintenance. Ce dispositif utilise un système de lecture de QR code pour enregistrer automatiquement les dates de début et de fin d'opération, ainsi que l'opérateur associé à cette opération. Un cas d'usage de maintenance de robot pédagogique a été mis en place en collaboration avec l'ESIGELEC. Deux stagiaires ont été recrutés pendant 6 semaines pour tester le système et exécuter le cas d'usage. Cependant, les données collectées lors de cette première version du cas d'usage n'ont pas été suffisantes pour permettre de déduire les profils des opérateurs. Cela est principalement dû à la nature du cas d'usage, qui concerne une tâche de maintenance où les opérations ne se répètent pas. Afin de remédier

à ces problèmes, un deuxième cas d'usage de production a été développé. Pour obtenir un grand nombre de données, nous avons opté pour un cas d'usage basé sur les origamis et les Lego, permettant de mettre les opérateurs dans différents états tels que la fatigue, les pauses, l'expérience, etc. Deux stagiaires ont été recrutés par CESI pour développer la gamme de production de ces modèles et les intégrer dans le système de collecte de données. Les essais seront effectués au cours du mois de juin 2023.

Sur le plan théorique, après avoir développé un simulateur avec des profils d'opérateurs modélisés à l'aide de chaînes de Markov en considérant uniquement la ponctualité des opérateurs, nous avons proposé un modèle plus complet prenant en compte plusieurs aspects tels que l'expérience, la ponctualité, l'apprentissage, l'éducation, etc. Nous avons également développé un modèle d'optimisation non linéaire permettant d'optimiser l'allocation des opérateurs aux postes de travail. Ce modèle intègre l'aspect de la ponctualité et de l'expérience. Une partie de ce modèle a été soumise à une revue scientifique (International Journal of Production Research). Par ailleurs, les enseignants chercheurs de l'ESIGELEC ont proposé un modèle de comportement humain inspiré de leurs travaux antérieurs sur le comportement des personnes appliqué à une voiture autonome. L'Université du Havre a recruté un post-doctorant en mars 2023 pour travailler sur l'optimisation stochastique et la planification dynamique. Un premier modèle d'optimisation a été proposé pour ordonnancer les opérations et allouer les opérateurs en fonction de leur expérience dans un job shop.

Les partenaires se sont réunis au moins une fois par mois pour présenter les travaux et mettre à jour les actions. Le projet a été présenté lors de la conférence MIM2022 et dans les réunions et évènements du laboratoire LINEACT.

Réalisation jusqu'au 31 mars 2024 :

Pendant cette année, nous avons poursuivi notre travail sur le cas d'utilisation pratique en production. Nous avons développé et testé en conditions réelles le cas d'utilisation basé sur des origamis et des Lego au sein de l'atelier flexible de CESI LINEACT. L'objectif était de recueillir des données importantes sur le comportement des opérateurs dans un environnement de production répétitif. Concrètement, nous avons établi une ligne de production simplifiée comprenant 4 postes de travail distincts où les stagiaires devaient effectuer des tâches d'assemblage de modèles en origami et en Lego. Quatre stagiaires en Initiation à la Recherche ont été engagés pour exécuter ce cas d'utilisation sur plusieurs semaines. Pendant cette période, notre système automatisé de collecte de données a enregistré en temps réel les dates de début et de fin des opérations, les opérateurs concernés, ainsi que des données vidéo et des images des postes de travail. L'instrumentation des postes a été améliorée grâce à la collaboration avec l'ESIGELEC qui a contribué au déploiement de caméras supplémentaires. Les données collectées ont permis de valider le modèle théorique de comportement humain que nous avions déjà développé. Sur la base de ces données, nous avons proposé un modèle de comportement plus complet intégrant des aspects tels que l'expérience, la ponctualité, l'apprentissage et la motivation des opérateurs. Parallèlement, le système de collecte de données et de suivi de la production a été amélioré, notamment en intégrant une interface de visualisation en temps réel des événements de production. Sur le plan théorique, l'équipe de l'Université du Havre a proposé un modèle d'optimisation d'ordonnancement dynamique reposant sur de l'optimisation stochastique. Ce modèle vise à déterminer l'allocation optimale des opérateurs en fonction de leur profil (expérience, ponctualité, etc.) et des aléas de production. De notre côté, nous avons finalisé notre modèle d'optimisation non-linéaire pour l'affectation des opérateurs aux postes de travail. Nous avons soumis ces travaux à l'International Journal of Production Economics et avons effectué deux révisions majeures du papier suite aux retours des relecteurs.

Cette année a été riche en avancées à la fois sur le plan pratique avec la mise en œuvre d'un cas d'utilisation complet, et sur le plan théorique avec de nouveaux modèles de comportement humain et d'optimisation proposés par le consortium. Ces résultats prometteurs ouvrent la voie à de futures expérimentations et publications.

6.7 OPTIMAN : OPTIMISATION MULTI-OBJECTIVE D'ATELIER D'USINAGE ROBOTISEE CENTREE SUR L'HUMAIN ET BASEE SUR LES JUMEAUX NUMERIQUES

Partenaires : CESI, Ateliers Maugars.

Appel à projet : Soutien à l'innovation en collaboration

Budget global du projet : 639 k€
Budget CESI du projet : 207 k€

Lancement du projet : 1er octobre 2023
Durée du projet : 36 mois

UNION EUROPÉENNE
Fonds européen de développement régional

RÉGION NORMANDIE

Le projet OPTIMAN vise à accroître la productivité de l'atelier de production en adoptant une approche basée sur l'optimisation de la conception et l'intégration des cellules robotisées d'usinage de précision, suivie de l'optimisation des flux de produits dans tout l'atelier. Les technologies de l'industrie 4.0 et le concept d'usine intelligente et durable seront utilisés pour superviser les cellules et garantir leur fonctionnement optimal, tout en intégrant les principes de l'industrie 5.0 pour placer l'humain au centre des systèmes.

Les trois principaux objectifs du projet sont les suivants :

i) Améliorer l'exploitabilité des outils de production existants :

- Réduire le temps de préparation par produit et assurer un approvisionnement continu des cellules d'usinage.
- Développer des solutions basées sur la robotisation et l'optimisation de l'ordonnancement des opérations.
- Mettre en place des jumeaux numériques pour superviser et contrôler les cellules en temps réel.

ii) Optimiser le fonctionnement de l'atelier :

- Développer un outil d'aide à la décision automatique pour la planification des tâches et des ressources.
- Mettre en œuvre deux niveaux d'optimisation : prévisionnel et dynamique, pour anticiper les variations imprévues durant l'exécution du plan prévisionnel.

iii) Diffuser les résultats :

- Partager les résultats et les pratiques adoptées avec d'autres entreprises de la région Normandie grâce à des ateliers de sensibilisation et au réseau de NAE.
- Diffuser les travaux auprès de la communauté scientifique par le biais de publications scientifiques nationales et internationales.

Réalisations à la date du 31 décembre 2023

Cette année a marqué le début excitant du projet OPTIMAN, où chaque étape a été soigneusement planifiée et exécutée avec précision. Nous avons consacré une part significative de nos efforts à recruter les ressources essentielles pour mener à bien notre mission. Ces membres clés de l'équipe ont rapidement pris leurs marques, contribuant ainsi à la production des premiers résultats tangibles. Parallèlement à nos avancées opérationnelles, nous avons également accordé une attention particulière à l'axe de la dissémination des connaissances, un aspect vital de notre engagement envers la collaboration et le partage de nos découvertes avec la communauté.

1. Recrutement des membres clés de l'équipe et premières réunions:
    - Nous avons réussi à pourvoir deux postes essentiels pour l'avancement du projet : celui de l'ingénieur de recherche (Mr. Victor Vignal) qui travaille sur le développement du jumeau numérique et celui du stagiaire (Mr. Kheir-Eddine ZERROU BETCHIM) qui commencera le développement d'un modèle d'optimisation de l'ordonnancement centré sur l'humain.
    - Des réunions ont été organisées avec notre entreprise partenaire les Ateliers Maugars afin de comprendre la problématique et discuter des progrès du projet et de garantir que nos développements correspondent à leurs besoins.
2. Développement des premières solutions:
    - Nous avons élaboré une première version du jumeau numérique qui sera utilisé pour surveiller et contrôler les cellules robotisées. Nous avons reçu des plans de la part de l'entreprise et nous avons développé un premier modèle fonctionnel que nous avons partagé avec l'entreprise. Dans l'attente des plans de la cellule qui sera robotisée nous nous sommes concentrés sur l'optimisation de la configuration de la cellule.
    - Un premier modèle d'optimisation globale a été proposé en se basant sur les investigations du stagiaire. Cela servira de base pour l'ordonnancement des flux de produits dans l'ensemble de l'atelier de production.
3. Visibilité médiatique et partage des résultats:
    - Des interviews avec des journalistes ont été réalisées pour promouvoir le projet, et plusieurs articles ont été publiés dans des revues spécialisées telles que L'Usine Nouvelle. Cela a permis de sensibiliser un large public à nos travaux et d'attirer l'attention sur les avancées de notre projet.

Les avancées jusqu'à présent démontrent un progrès significatif vers les objectifs du projet OPTIMAN. Le recrutement des membres clés, le développement des solutions technologiques et la collaboration étroite avec notre partenaire industriel sont autant de jalons importants sur la voie de l'optimisation de la productivité de l'atelier de production, conformément aux objectifs énoncés du projet.

6.8 COLIBRY - COLLABORATIVE SEMANTIC ROBOTICS FOR INDUSTRY 5.0

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

Appel à projet : Métropole Rouen Normandie – Dispositif Recherche

Budget global du projet : 146 578 k€

Budget CESI du projet : 70 070 k€

Lancement du projet : 1er 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 sont ciblés. 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 CESI LINEACT. L'ESIGELEC IRSEEM apportera son expérience en expérimentation robotique, perception, synchronisation, calibration et localisation. CESI LINEACT 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).

Réalisations à la date du 31 janvier 2024

Durant cette période, nous avons prolongé nos travaux sur la reconnaissance sémantique et l'estimation de pose 6D d'objets industriels pour la mise à jour du jumeau numérique. Notre choix s'était porté sur le modèle YOLO6D dont nous avons évalué les performances dans le cadre de différents travaux. Des métriques, classiquement reprises dans la littérature, ont alors été utilisées permettant d'estimer des erreurs en 3D (rotation et translation) et en 2D (pourcentage de recouvrement des boites englobantes dans l'image) :

- Nous nous sommes tout d'abord intéressés à étudier l'influence de la contextualisation dans les performances du modèle pour la détection, la reconnaissance et l'estimation de pose d'un carton. Pour ce faire, nous avons tiré parti du jumeau numérique et créé plusieurs jeux de données pour

entrainer l'algorithme : fond monocolore, fond randomisé, fond du jumeau numérique de l'atelier flexible, carton en perspective, avec et sans occlusion. Les résultats, sous forme de validation croisée et publiés dans la conférence ICIEA-EU (http://iciea.eu/), ont mis en évidence des performances significativement meilleures lorsque l'entrainement du modèle se fait dans un environnement dont le contexte est proche de celui de l'inférence, ici l'atelier flexible de production.

- Fort de ce constat, nous nous sommes ensuite questionnés sur les performances du modèle lorsque les données de validation sont des images réelles de l'atelier flexible de production capturées par le robot MIR et que l'entrainement s'est fait sur un jeu de données d'images synthétique. Malgré le réalisme du jumeau numérique, le gap entre ces images de synthèse et les images réelles restent trop important et ont conduit à des résultats médiocres.
- Nous nous sommes alors intéressés à déterminer la proportion de données réelles que doit contenir un jeu d'entrainement pour que les performances du modèle soient bonnes. Pour y parvenir, un effort important a porté sur la création d'un jeu de données réelles labellisées. Nous avons exploité les moyens du laboratoire, en particulier le système de Motion Capture et le robot MIR, et développé une routine qui permet :
    - De synchroniser l'ensemble des flux de données
    - D'estimer les différentes transformations entre les repères (MOCAP ; MIR ; Caméra) pour reprojeter l'ensemble des positions dans un repère unique.
    - Détecter si l'objet (ici le carton) est dans le champ de vue du robot, auquel cas l'image est sauvegardée, sinon elle est effacée.

  Ce jeu de données ainsi obtenu, nous avons entrainé successivement le modèle en injectant un pourcentage croissant de données réelles au jeu de données synthétiques tout en maintenant constant la taille du jeu de données d'entrainement. Les résultats ont mis en évidence une rupture franche des performances du modèle pour une proportion de 25% de données réelles et 75% de données synthétiques : les performances, tant en termes d'erreurs de rotation que de translation sont médiocres pour une proportion d'images réelles plus faible ; à contrario, le gain en performance n'est pas significatif pour une proportion de données réelles plus importante. Ces travaux font actuellement l'objet d'un projet de publication dans une revue indexée (IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society).

Valorisation scientifique :

A. Laignel et al., 2024. Synthetic datasets for 6D Pose Estimation of Industrial Objects: Framework. Benchmark and Guidelines, *The 11th Int. Conf. on Industrial Engineering and Applications*, hal-04389164

6.9 OASIS - ROBOTICS & ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR INDUSTRIAL RISK MANAGEMENT IN HOSTILE ENVIRONMENTS

Porteur : CESI LINEACT

Appel à projet : Métropole Rouen Normandie – Dispositif Plateforme

Budget global du projet : 334 240 k€

Budget CESI du projet : 334 240 k€

Lancement du projet : 1er Octobre 2022

Durée du projet : 24 mois

Le projet **OASIS** « robOtics & Artificial intelligence for induStrial rIsk management in ho
rentre dans sa phase opérationnelle avec l'arrivée du robot SPOT dans les locaux c
Rouen !

OASIS est lauréat de l'appel à projet « Plateforme » 2022 de la Métropole Rouen Normandie et soutenu par la filière Normandie Energies, il vise à étendre le démonstrateur Usine du Futur du campus CESI de Rouen aux problématiques de gestion des risques industriels et son rayon d'action aux filières industrielles de l'Energie.

Pour ce faire, CESI Campus de Rouen s'est doté en février 2023 du robot quadrupède SPOT de la société Boston Dynamics. Sa morphologie, semblable à celle d'un chien, en fait un robot particulièrement agile pour évoluer dans des zones à risque, hostiles et difficiles d'accès pour l'homme, pour des missions d'inspection, de collecte, de traitement et d'analyse d'informations. Son bras articulé lui permet de réaliser des actions et d'agir sur son environnement (ouverture/fermeture d'une vanne par exemple, déplacement d'un objet, etc.).

Plusieurs actions sont prévues dans le cadre d'OASIS :

- Accompagner la transformation digitale des entreprises des filières industrielles de l'Energie pour répondre aux enjeux en gestion des risques industriels. Ceci se concrétisera par la mise en place d'un Comité de Prospective Technologique et des Usages constitué des acteurs de ces filières, d'ateliers de sensibilisation, de formations au robot SPOT et la mise en œuvre d'une preuve de concept évaluée en situations réelles.
- Etendre l'activité de recherche actuelle de CESI LINEACT mêlant maquettes virtuelles et environnements réels pour les ateliers de fabrication, aux problématiques de gestion des risques industriels en environnements sévères.

Réalisations à la date du 31 Mars 2024

Durant cette période, nos efforts se sont portés sur l'intégration du robot SPOT à la plateforme Industrie du Futur. L'objectif est de rendre autonome ce robot dans le cadre d'un scénario qui vise à prendre un objet sur la chaine de production FESTO et à le déposer sur un poste manuel pour qu'un opérateur en réalité augmentée s'en saisisse. A ce titre, plusieurs travaux ont été réalisés :

- Prise en main du ROS installé dans l'ordinateur embarqué sur le robot.
- Intégration des différentes fonctionnalités du robot depuis ce ROS :
  - Déplacement
  - Accès aux images RGB-D
  - Fusion des images sous forme d'un panorama (en cours)
- Réalisation d'une cartographie mixte 2D-3D permettant la navigation autonome du robot dans un espace connu :
  - Depuis une même carte partagée par d'autres robots du laboratoire (ex. MIR, TIAGO, etc.)
  - Depuis sa carte 3D pour des raisons de compatibilité
- Création d'une carte 2D de navigation à partir de données 3D
- Automatisation de saisie d'objets par identification par caméra RGB-D à l'aide de QR-codes.

- En cours, liaison des travaux de COLIBRY vers OASIS pour des tâches d'automatisation de saisie d'objets à partir de leur reconnaissance et de leur estimation de pose en 3D via l'algorithme YOLO6D. Nous projetons de valoriser cette avancée par une publication dans une conférence ou revue indexée.
- Production de documentations techniques sur les développements effectués.

6.10 ROUEN MOBILITES 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

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 impliqué 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 31/03/2024:

Action Hyperviseur

- Proposition d'un modèle de sim-optimisation visant à optimiser la mobilité urbaine par le biais du covoiturage dynamique avec des véhicules électriques et autonomes.
- Proposition d'un nouveau cadre de construction de hub dynamique basé sur le regroupement spatio-temporel des demandes des passagers.
- Développement d'une méthode de regroupement spatial et temporel des requêtes des passagers afin de définir des groupes naturels (ou "clusters") en fonction de la proximité géographique des origines et destinations ainsi que des préférences temporelles des usagers. Des hubs dynamiques sont ensuite établis pour chaque cluster afin de servir de zones de prise en charges et de déposes.
- Validation du modèle proposé par simulation sur le cas d'étude MRN en utilisant des données réelles de demande de passagers.
- Les résultats de la simulation fournissent des informations sur la distribution des modes de transport, le temps et la distance parcourue par mode en fonction de l'itération :
    - Les résultats montrent que l'approche peut réduire de manière significative des métriques clés telles que l'utilisation des véhicules (jusqu'à 61% pendant les heures de pointe), la congestion du réseau et les temps d'attente moyens des passagers (de 20 minutes à 7 minutes en moyenne), grâce à une meilleure capacité de covoiturage entre les hubs.
    - Le covoiturage permet des taux d'occupation des véhicules dépassant 70% pendant les heures de pointe et maintient les niveaux d'énergie des véhicules de retour supérieurs à

30% pendant la majeure partie de la journée, ce qui indique une meilleure efficacité de la flotte par rapport au regroupement à cluster unique.

- Des simulations utilisant des données réelles de mobilité de la ville de Rouen ont permis d'évaluer les performances de l'approche proposée. Les résultats démontrent des réductions significatives de l'utilisation des véhicules, de la congestion du réseau et des temps d'attente moyens des usagers grâce à une meilleure capacité de partage entre les hubs. Le cadre proposé permet ainsi d'optimiser le système de mobilité à la demande de manière coordonnée et multi-cluster via un covoiturage dynamique. Ces différents résultats ont permis de soumettre un article scientifique au journal TRB (Transportation Research : Part B) :
    - Un deuxième article scientifique est en cours de préparation et va être soumis à la conférence IEEE ITSC (Intelligent Transportation Systems Conference). Le papier introduit une nouvelle méthodologie pour générer une population synthétique d'utilisateurs adaptée aux services de véhicules autonomes à la demande (AMoD).
- À long terme, le travail se concentrera sur les actions suivantes :
    - Développer un modèle d'apprentissage profond intégrant l'aspect sémantique des données d'entrée. En effet, il est important de comprendre la nature séquentielle des habitudes de déplacement des passagers. Par exemple, le trajet du "domicile" vers le "travail" correspond souvent à un trajet de retour du "travail" vers le "domicile". En appliquant des techniques d'apprentissage profond, nous aspirons à capturer et analyser ces relations de corrélation séquentielle inhérentes aux comportements de déplacement des passagers.
    - Affiner les algorithmes de prévision de la demande afin d'obtenir une granularité horaire plutôt que sur des créneaux de deux heures, pour une supervision plus détaillée.
    - Intégrer des sources de données en temps réel telles que les données GPS des véhicules, l'utilisation des applications mobiles, les flux sur les réseaux sociaux et les calendriers d'événements, afin de permettre des mises à jour et des ajustements prédictifs plus fréquents.
    - Explorer des techniques d'optimisation dynamique permettant d'ajuster en temps réel les paramètres du service (prix, disponibilité des véhicules, etc.) en fonction de la demande fluctuante, dans le but de maximiser le chiffre d'affaires et l'utilisation des ressources.

Action Living Lab

- Actions menées en tant qu'organisateur :
    - Organisation d'une visite du Mix à une délégation du projet C-Care du programme INTERREG FMA
    - Animation de 2 ateliers « Fresque de la mobilité » pour sensibiliser 120 apprenants aux enjeux carbone de la mobilité des personnes
    - Animation d'un atelier Lego ® Serious Play ® auprès de 10 apprenants pour identifier les problèmes liés à la mobilité sur le Madrillet et proposer des pistes de solutions
    - Organisation d'une visite du Campus CESI Rouen pour les membres du Mix
- Actions menées en tant que participant :
    - Participation aux ateliers de co-création organisés par le Mix
    - Participation aux RDV des partenaires organisés par le Mix
    - Participation à l'atelier « Fresque de la mobilité » organisé par le Mix
    - Participation aux visites partenaires Mix organisées par Transdev, les Copeaux numériques et Energytronik
    - Participation à l'atelier « Fresque du climat » organisé par le Mix
    - Participation à l'atelier « 2 tonnes » organisé par le Mix
- Caractérisation d'un LivingLab :
    - Interview de 6 OpenLabs (Le WIP, La French Tech Caen, Normandie Incubation et Espace Public Numérique de Gonneville en Auge, le Dôme et le Blue LivingLab by Nausicaa)
    - Revue de la littérature portant sur les OpenLabs et les LivingLabs
    - Définition et différentiations des OpenLabs
    - Identification des caractéristiques d'un LivingLab
    - Présentation d'un article scientifique dans une conférence : E. Pillon " Exploring stakeholder-defined activities and outcomes in Living Labs: the case of Living Lab Mix. ", In proc. WOIC 2023, Bilbao, Novembre 2023

- Soumission d'un article scientifique dans une conférence : E. Pillon " Uncovering Living Labs' Activities and Outcomes: Key Insights for Stakeholder Expectations. ", In proc. R&D Management 2024, Stockholm, Juin 2024

- Rôle des Living Labs dans l'innovation de business model :
  - Recrutement d'un doctorant (Gaëtan SAVARIT) depuis décembre 2021
  - Article scientifique dans une conférence : G.Savarit, E. Pillon, A.Louis, " Business model development through testing: lessons from both the business model literature and Living Lab literature regarding stakeholders' engagement and context. ", In proc. EURAM 2023, Dublin, Juin 2023

6.11 ROJUNACO – ROBOTIQUE ET JUMEAU NUMERIQUE AUGMENTE POUR LA CONSTRUCTION

Porteur : CESI LINEACT

Appel à projet : Métropole Rouen Normandie – Dispositif Recherche

Budget global du projet : 77 k€

Budget CESI du projet : 77 k€

Lancement du projet : 1er Octobre 2023

Durée du projet : 24 mois

Le projet **ROJUNACO** s'inscrit dans le contexte de la construction 4.0 et porte sur des travaux de recherche sur du recalage de données, de la remontée d'informations sémantiques et la mise en place d'une preuve de concept pour des missions d'inspections automatisées basées sur le jumeau numérique, le BIM, la robotique et la réalité augmentée.

Réalisations à la date du 31 Mars 2024

Durant cette période, nous avons tout d'abord engagé un travail de vérification des maquettes 3D BIM du campus CESI de Rouen disponibles au laboratoire en les confrontant à la vérité terrain : une maquette Revit ; une maquette Unity qui est celle actuellement exploitée dans le cadre du jumeau numérique de l'atelier flexible de production. Des imports/exports de données dans des formats compatibles avec des outils de CAO ont alors été réalisés. Des mesures effectuées sur des éléments de référence (ex. dimensions des portes/fenêtres, leurs positions absolues par rapport à un point fixe, etc.) ont permis d'identifier la maquette la plus proche de la vérité terrain. En l'état, c'est la maquette Unity qui est la plus fidèle. C'est donc cette maquette que nous utiliserons comme maquette de référence pour les travaux ultérieurs.

Un deuxième travail actuellement en cours, consiste à créer des jeux de données d'objets à détecter pour évaluer les écarts entre la maquette BIM et leur emplacement réel : fenêtres, portes prises électriques en saillie sont les objets que nous avons pour l'instant ciblés. Pour y parvenir, nous nous appuyons sur le jumeau numérique de l'atelier flexible de production en créant des jeux de données synthétiques. Nous portons une attention particulière au placement de la caméra dans Unity pour créer ces images de synthèse : il doit être cohérent avec la position réelle de la caméra sur le robot SPOT que nous utiliserons pour ces missions d'inspection. Les entrainements du modèle sont en cours et les premiers résultats devraient être connus sous peu. Le passage au réel posera probablement quelques difficultés. Nous envisagerons alors de construire un jeu de données d'images réelles pour réduire le « reality gap ». Nous questionnerons alors la proportion d'images réelles VS images de synthèse que doit contenir le jeu de données d'entrainement pour que les performances du modèle soient bonnes vis-à-vis des besoins du projet.

6.12 PLATEFORME FAN POLYMERES

Partenaires : Arkema, CESI, 3 D&G, Demgy, Francofil, INSA Rouen Normandie (GPM), MSC Scanning, NAE, NES 3D et Polyvia Formation

Appel à projet : Soutien à l'innovation en collaboration

Budget du projet : 5,9 M€
Budget CESI du projet : 481 k€

Lancement du projet : 3 octobre 2023
Durée du projet : 36 mois

Résumé du projet :

Subventionnée par la Région Normandie au titre du dispositif « Projets collaboratifs » et cofinancée par le Fonds Européen de Développement Régional, cette plateforme a pour ambition de développer un outil d'innovation et de compétitivité au service des acteurs normands : enseignants, étudiants, chercheurs, start-up et industriels, pour développer l'appropriation de ce procédé de fabrication innovant.

Avec une technologie en constante évolution, des problématiques de qualification des matériaux complexe, le besoin de compétences nouvelles, l'appropriation de cette technologie est un enjeu des plus important pour la compétitivité des acteurs normands. De plus dans le cadre de la décarbonation de l'industrie (enjeu de France 2030), la fabrication additive joue un rôle majeur sur le process de production pour les industriels mais aussi sur le développement de produits à forte valeur ajoutée grâce à la fonctionnalisation plus importante permise par cette technologie. La Normandie a commencé à structurer son territoire dès 2020 via la structuration de deux plateformes FAN (ARKEMA et FRANCOFIL) qui ont pris fin en juin 2022. Cette initiative a porté ses fruits et une réelle dynamique positive sur le territoire s'est mise en place avec un rayonnement au niveau national. Cette nouvelle proposition de plateforme vient continuer cette dynamique mais surtout la renforcer pour couvrir l'ensemble de la chaine de valeur ce qui en fait une approche unique au niveau national. Bien que la priorité concerne les acteurs normands et tout particulièrement la synergie entre ces derniers, le positionnement sera national.

Pour relever ces défis et renforcer encore plus la valeur ajoutée sur notre territoire, ce projet de plateforme FAN reposera sur 3 objectifs :

- Renforcer les activités recherche, technologie et innovation pour garder une longueur d'avance
- Développer les compétences en Normandie
- Fédérer et promouvoir les acteurs normands

Ces 3 objectifs fortement liés vont permettre de renforcer la synergie entre les acteurs et permettre de toucher aussi bien les industriels, les start-up que les acteurs académiques. Plus concrètement, cela se traduira par :

- Lever les verrous technologiques de la Fabrication Additive autour de 4 thématiques de spécialisation (24 projets de recherche) :
  - Matière première et produits finis
  - Robustesse des procédés
  - Opération de finitions
  - Recyclage et cycle de vie

- Faciliter l'appropriation de la Fabrication Additive structurée autour de 3 piliers
  - Informer, sensibiliser et fédérer au travers de newsletter, ateliers, webinaires et un symposium ainsi qu'une étude sur le rôle de l'innovation ouverte
  - Identifier, soutenir et développer afin de faciliter l'appropriation de cette technologie grâce à l'accès aux compétences et moyens de l'ensemble des partenaires
  - Former et orienter afin de permettre une meilleure connaissance des formations existantes et sensibiliser les plus jeunes qui seront nos talents de demain.

Implication de CESI LINEACT dans le projet :

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

- Opérations de finitions - Etudes, analyses et expérimentations des procédés de post-traitement liés à la fabrication additive :

La conception de pièces a fortement évolué suite aux nombreux développements des technologies d'impression 3D. Les procédés sont aujourd'hui pour la plupart maitrisés mais le problème des états de surface des pièces finies demeure. Le post traitement des pièces est une partie essentielle de la chaine de valeur et le cahier des charges client peine à être respecté sur ce thème à cause d'un manque d'expérience dans le domaine. L'étude et la diffusion de résultats d'échantillonnage de pièces 3D imprimées avec différentes technologies et ainsi couplées à des machines de post traitement avec une grande diversité de médias pourraient aider grandement les entreprises dans le choix et l'acquisition de ces moyens.

- Recyclage, cycle de vie - Etude sur la revalorisation des déchets liés à l'usage de la fabrication additive (FDM) :

L'économie circulaire ainsi que le recyclage des déchets est un thème essentiel dans l'ère que nous vivons aujourd'hui. Suite à l'apparition d'un grand nombre de machines d'impression 3D dans les entreprises et chez les particuliers, le besoin de revalorisation des déchets est un sujet très important à traiter. L'étude de développement d'un kit de broyage est de recyclage des déchets liés à la FA pourrait apporter une partie des solutions de retraitement et cela à moindre coût.

- Informer, sensibiliser, fédérer : Rôle de l'innovation ouverte dans l'appropriation de la fabrication additive dans les entreprises

Cette étude vise à comprendre dans quelles mesures l'innovation ouverte facilite l'appropriation de la FA par les entreprises en s'intéressant plus particulièrement à l'analyse du niveau de maturité technologique des entreprises en terme de FA, l'identification des pratiques d'innovation ouverte mises en places par les acteurs de l'écosystème FA Normand et l'analyse des retombées en terme de création/capture de valeur et d'exploration/exploitation pour les entreprises.

Réalisations au 31 mars 2024 :

- Opérations de finitions - Etudes, analyses et expérimentations des procédés de post-traitement liés à la fabrication additive :
  - Recrutement d'un ingénieur de recherche en cours
  - Réalisation de l'état de l'art scientifique et technique sur les différents moyens de post-traitements.
  - Choix, intégration et prise en main des équipements techniques : machine de tribofinition, machine de teinte et machine caractérisation mécanique.
  - Rodage des médias de tribofinition

  <u>Perspectives :</u>

  - Essais de post-traitement avec différents médias et différentes durées d'exposition sur des pièces à géométrie plus ou moins complexes
  - Analyse de la rugosité de surface des pièces post traitées
  - Analyse des propriétés mécaniques de pièces FA avant et après post traitement
  - Analyses et capitalisations des essais de post traitement sur des pièces FA
  - Réalisations d'abaques d'utilisation liés aux moyens et aux pièces post traitées

- Recyclage, cycle de vie - Etude sur la revalorisation des déchets liés à l'usage de la fabrication additive (FDM) :
  - Recrutement d'un ingénieur de recherche en plasturgie

- Réalisation de l'état de l'art scientifique et technique sur la revalorisation des déchets et des moyens de mise en œuvre associés.
- Choix, intégration et prise en main des équipements technique : broyeur, moule imprimé en résine, presse d'injection plastique manuelle, thermopresse et thermoformeuse, extrudeuse/bobineuse et imprimante 3D à filaments et granulés.
- Etude et faisabilité des différents procédés de mise en œuvre à partir de déchets FDM : essais sur différents matériaux et paramètres, amélioration de l'efficacité et durabilité de l'outillage.

Perspectives :

- Etudes et analyses sur le thermoformage avec des plaques recyclées.
- Caractérisation mécanique des différentes éprouvettes réalisées par injection plastique.
- Caractérisation mécanique des impressions filament recyclé et granulés recyclés (comparaison)
- Analyses et capitalisation des résultats

➢ Informer, sensibiliser, fédérer : Rôle de l'innovation ouverte dans l'appropriation de la fabrication additive dans les entreprises

- Réalisation d'un état de l'art pour répondre aux questions de recherche suivantes :
  - Comment l'innovation ouverte peut-elle être utilisée pour maximiser les avantages de la fabrication additive dans le secteur industriel ?
  - Quels sont les défis et les meilleures pratiques en terme d'innovation ouverte pour favoriser l'intégration de la fabrication additive dans les entreprises du secteur industriel ?
- Identification de l'intérêt de la fabrication additive dans le secteur industriel
  - Liberté de conception : La FA permet la création de pièces aux formes complexes et géométries variées, allant au-delà des limites des méthodes traditionnelles de fabrication.
  - Personnalisation de masse : Sans besoin de moules ou d'outillage fixe, chaque pièce produite par une machine peut être unique, ouvrant la voie à la personnalisation à grande échelle.
  - Accélération du développement et de la production : L'élimination des opérations de fabrication et de préparation des outils accélère à la fois le développement du produit et la production, réduisant le délai de mise sur le marché
  - Simplification de la maintenance et du support : La FA peut simplifier la maintenance et le support des produits sur le terrain, réduisant le besoin d'inventaires de pièces de rechange en permettant la production à la demande d'articles à partir de fichiers numériques
  - Réduction des coûts de production : La FA peut conduire à une réduction significative des coûts de production, notamment en minimisant les déchets de matériau et en optimisant les processus
- Identification des défis de la FA :
  - Qualité et fiabilité : Les machines, les matériaux et les processus ne sont pas encore assez stables et standardisés
  - Certification : Surtout dans l'aéronautique, nécessité de caractériser la qualité et la fiabilité dans le temps des pièces produites
  - Maturité de la technologie : Technologie pas encore mature et qui présente une diversité de paramètres clés, de matériaux et de procédés
  - Formation et compétences : Manque de compétences spécialisées et besoin d'actualiser en permanence ces compétences
- Identification de pistes de bonnes pratiques pour intégrer la FA :
  - Favoriser la diversité des compétences en encourageant une collaboration étroite entre les équipes d'ingénierie, de conception, et de R&D.
  - Établir des partenariats stratégiques pour accéder à des compétences spécialisées et des ressources complémentaires

- Mutualiser les moyens pour réduire les coûts d'investissement initiaux et améliorer le retour sur investissement
- Investir dans la formation continue pour garantir maintenir une expertise pointue dans le domaine de la fabrication additive et la maîtriser les technologies
- Être en veille sur les nouvelles idées et technologies pour rester à l'avant-garde des développements de la fabrication additive et anticiper les évolutions du marché.
- Élaborer des stratégies robustes pour la protection en considérant des modèles de partage de connaissances qui garantissent la sécurité des informations sensibles.

Perspectives :

- Approfondissement de l'analyse de l'innovation ouverte :
  - Exploration plus poussée des mécanismes d'innovation ouverte spécifiques qui peuvent être appliqués avec succès à la fabrication additive.
  - Étude des modèles de collaboration interentreprises et intersectoriels pour maximiser les avantages de la FA

6.13 NEXUS

Partenaires : Nantes Université, CESI, Arts Et Métiers Nancy-Mets (ENSAM), Région académique Grand-Est, UniLaSalle, ALSTOM

Appel à projet : DEFFINUM

Budget global du projet : 3,631 M€

Budget CESI : 490 k€

Date de lancement du projet : 1er mars 2023
Durée du projet : 3 ans

Résumé :
Le projet NEXUS se concentre sur le développement d'une plateforme « Metaverse » interopérable et open-source pour l'apprentissage. Il vise à faciliter la production et la distribution de ressources éducatives basées sur la réalité immersive. Cette nouvelle modalité, exploitant la puissance de la réalité virtuelle, permet de tirer pleinement parti de la cognition incarnée, un état connu pour être propice à l'apprentissage. L'un des objectifs des travaux au CESI dans le cadre du projet NEXUS concerne la présence des utilisateurs dans l'environnement de réalité virtuelle pour la pédagogie et l'apprentissage. Il se concentre sur l'effet que l'incarnation d'un avatar peut avoir sur les utilisateurs d'environnements virtuels immersifs. Dans l'environnement de RV, l'interaction joue un rôle central : l'apprenant est actif et ses actions créent la possibilité de réguler l'apprentissage. En outre, la communauté s'intéresse de plus en plus à l'utilisation de la réalité virtuelle en raison du potentiel découlant de la convergence de l'intelligence collective (IC), de la réalité virtuelle (RV) et de l'éducation. Ainsi, un autre objectif du travail vise à mieux comprendre les interactions complexes entre l'IC et la RV afin de les intégrer dans une interface qui favorise une meilleure communication et une prise de décision collective plus efficace.

Réalisations au 31 décembre 2023 :
Contribution 1 : L'impact de l'incarnation d'un avatar dans les environnements d'apprentissage virtuel
L'effet de l'incarnation d'avatars en réalité virtuelle est un nouveau sujet de recherche qui est apparu avec la démocratisation des technologies immersives. Pour la première fois, ces technologies ont permis à leurs utilisateurs de pouvoir incarner un corps totalement différent du leur en seulement quelques instants. C'est dans ce contexte que des chercheurs ont découvert l'existence de ce qu'ils ont appelé l'effet Proteus [1]. Ce phénomène décrit la tendance des utilisateurs à adopter un comportement et une attitude conforme aux attentes évoquées par l'apparence de l'avatar incarné. Malgré les nombreuses démonstrations de l'effet Proteus dans la littérature, deux aspects de ce phénomène restent encore insuffisamment étudiés.

Le premier aspect concerne l'explication théorique de l'effet Proteus. En effet, à ce jour très peu d'études ont cherché à explorer les mécanismes cognitifs qui pourraient être à l'origine de l'effet citent toujours les explications données par le premier article sur le sujet, à savoir, la théorie d'auto-perception [2]. Pour répondre à cet objectif, la première contribution s'est faite sous forme d'une revue de littérature qui a fait l'objet d'une publication CESI. Dans un premier temps, cette revue avait pour but d'analyser les hypothèses actuelles sur les mécanismes sous-jacent de l'effet Proteus (théorie de l'auto-perception, désindividuation et amorçage). Dans un second temps nous avons proposé trois nouvelles hypothèses pour mieux comprendre le phénomène (dissonance cognitive, incarnation et prise de perspective). Enfin, après l'analyse des différentes hypothèse un modèle est proposé, comportant les hypothèses les plus crédibles pour expliquer l'effet Proteus.

Le second aspect de l'effet Proteus qui reste peu traité dans la littérature correspond aux potentielles applications de celui-ci dans des contextes réels. Une des seules études sur le sujet a pu démontrer que l'incarnation de différents types d'avatars dans un environnement virtuel (EV) avait permis de moduler la créativité des employés d'une entreprise lors d'une tâche de production d'idées [3]. Ces résultats soulignent

bien l'intérêt que peuvent avoir les applications de l'effet Proteus. Le second but de ce projet est donc de trouver des applications innovantes de l'effet Proteus dans un cadre pédagogique ou professionnel. Pour cela, un premier protocole expérimental a été mis en place avec un groupe d'étudiants CESI. Ce protocole visait à reproduire l'effet Proteus dans un contexte pédagogique. Les étudiants devaient répondre à une série de questions de Statistiques dans l'EV. Cette étude a démontré que les étudiants ayant incarné un avatar Einstein avaient eu de meilleurs scores au test que ceux ayant incarné un avatar lambda. Ainsi, ce protocole a montré avec succès que cet Proteus peut être appliqué dans des contextes pédagogiques réels. En outre, l'évaluation du deuxième protocole visant à évaluer le rôle de la désindividuation au sein de l'effet Proteus est en cours.

Contribution 2 : Vers l'amélioration de l'intelligence collective dans un environnement virtuel
L'intelligence collective (IC) est une mesure qui reflète la capacité d'un groupe à effectuer un large éventail de tâches [4]. Il s'agit d'un indicateur essentiel pour prédire l'efficacité du fonctionnement d'un groupe. Alors que des études antérieures ont examiné la robustesse de l'IC dans divers contextes, notamment les interactions en face-à-face et les paramètres en ligne [5,6], sa transférabilité à la réalité virtuelle (VR) reste inexplorée. Ce travail vise à atteindre un triple objectif : (1) comprendre comment l'intelligence collective influence le comportement du groupe (c'est-à-dire, les signaux verbaux et non verbaux) dans un environnement virtuel immersif, (2) utiliser ces signaux pour développer une interface améliorant la dynamique de groupe en réalité virtuelle, et (3) appliquer ces résultats à une plateforme pédagogique immersive améliorant la collaboration et l'apprentissage en groupe. Ce travail aura des implications sur les connaissances théoriques concernant l'intelligence collective, ainsi que sur les possibilités offertes par un environnement immersif dans un contexte pédagogique.
L'orientation de la recherche pour ce travail est définie par trois questions principales :

1. Le potentiel d'un groupe est-il cohérent sur les différents supports utilisés pour les tâches de groupe, y compris les environnements VR immersifs ?
2. Les indices non verbaux de l'intelligence collective identifiés dans des recherches antérieures sont-ils observables dans des environnements de réalité virtuelle (RV) ? Sinon, comment sont-ils structurés dans les environnements de réalité virtuelle ?
3. L'utilisation de ces signaux dans un contexte de réalité virtuelle peut-elle conduire à des améliorations des performances du groupe et des résultats d'apprentissage ? Si oui, comment exploiter ces signaux ?

Les questions de recherche guident les études prévues. La première étape consiste à traduire le Test d'intelligence collective en français pour une applicabilité plus large. La deuxième étape se concentre sur la mesure des signaux comportementaux en VR, en testant la pertinence des mesures existantes et en identifiant de nouveaux signaux. La dernière étape exploite les signaux observés pour développer une interface VR visant à améliorer les performances du groupe et les résultats d'apprentissage.

Diffusion des résultats : Les résultats de ces travaux ont été présentés lors d'une conférence internationale (poster) et lors d'un atelier et ont également été soumis dans une revue de psychologie. Par ailleurs, une présentation orale et un poster ont également été exposés à Laval Virtual 2024.

Travaux à venir :

- Définir le scénario pédagogique qui peut être transformé en apprentissage basé sur la réalité virtuelle. Nous développerons ce scénario en utilisant UMI3D [7] / Intraverse, qui permet la création de médias 3D dans lesquels les utilisateurs de n'importe quel appareil AR/VR peuvent collaborer en temps réel. Le développement bénéficiera des résultats des recherches en cours sur l'effet Proteus sur l'incarnation de l'utilisateur, et de la notion d'intelligence collective dans un environnement de réalité virtuelle.
- Mise à niveau du laboratoire de RV avec un équipement et une infrastructure adaptés à la diffusion d'applications de RV simultanément pour plusieurs utilisateurs.

Références :
[1] N. Yee and J. Bailenson, "The Proteus Effect: The Effect of Transformed Self-Representation on Behavior," 2007, doi: 10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x.
[2] D. J. Bem, "Self-Perception Theory," *Adv. Exp. Soc. Psychol.*, vol. 6, no. C, pp. 1–62, Jan. 1972, doi: 10.1016/S0065-2601(08)60024-6.
[3] S. Buisine, J. Guegan, J. Barré, F. Segonds, and A. Aoussat, "Using avatars to tailor ideation process to innovation strategy," *Cogn. Technol. Work*, vol. 18, no. 3, pp. 583–594, 2016.

[4] Woolley, A. W., Chabris, C. F., Pentland, A., Hashmi, N., & Malone, T. W. (2010). Evidence for a Collective Intelligence Factor in the Performance of Human Groups. Science, 330(6004), 686- 688.
[5] Engel, D., Woolley, A. W., Jing, L. X., Chabris, C. F., & Malone, T. W. (2014). Reading the Mind in the Eyes or Reading between the Lines? Theory of Mind Predicts Collective Intelligence Equally Well Online and Face-To-Face. PLoS ONE, 9(12), e115212. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115212
[6] Kim, Y. J. (2016). How Collective Intelligence Impacts Team Performance : Exploring Transactive Memory System as a Mechanism.
[7] https://github.com/UMI3D/UMI3D-SDK

6.14 MOBE/ MON TRAJET VERT : ACCOMPAGNEMENT DE LA MOBILITE ECONOME EN ENERGIE EN FAVEUR DU PUBLIC ETUDIANT

Budget CESI du projet : 8 M€

Financement globale CEE : 8 M€

Lancement du projet : janvier 2023

Durée du projet : 4 ans

Objectif de l'action CESI :

MobE/ Mon trajet vert est un ambitieux programme d'économies d'énergie dédié à la mobilité quotidienne des étudiant. Ses objectifs sont :

- De comprendre et d'optimiser la mobilité quotidienne des étudiants afin de la rendre plus durable et responsable,
- D'engager les établissements d'enseignement supérieur français dans cette démarche.

Lauréat en janvier 2023 du dispositif de Certificat d'Economies d'Energie (CEE) du Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, MobE/ Mon trajet Vert est porté par CESI. Les actions de recherche sont menées par CESI LINEACT.

Les ambitions du programme portent sur :

- L'analyse des leviers motivationnels de mobilité des étudiants puis imaginer les mobilités de demain de manière innovante et participative ;
- Organiser des événements de proximité sur le sujet de la mobilité dans les établissements d'enseignement supérieur avec des actions de terrain ;
- Accompagner la démarche des établissements d'enseignement supérieur dans l'optimisation des mobilités étudiantes ;
- S'associer avec les opérateurs de mobilité pour proposer au public étudiant un service de mobilité fiable et adapté à leurs usages ;
- Enrichir les solutions de mobilité existantes en lien étroit avec les acteurs concernés ;
- Massifier l'impact en adoptant une démarche duplicable.

Les sujets de thèse définis permettent d'aborder les situations complexes en lien avec la mobilité dans un établissement d'enseignement supérieur en adoptant une approche via les sciences humaines et sociales et vis l'ingénierie et les outils numériques.
Sujet 1.1 : Déterminants motivationnels de la mobilité étudiante et prospective sur les mobilités futures.
Sujet 1.2 : Impact de la culture organisationnelle des établissements d'enseignement supérieur sur la mobilité étudiante.
Sujet 2.1 : Planification de la mobilité des étudiants de l'enseignement supérieur au travers d'un système dynamique et multimodal.
Sujet 2.2 : Prédiction des besoins de mobilité des étudiants au sein d'un système multimodal en utilisant l'apprentissage par renforcement.
Au 31 décembre 2023, les avancées sont :

- Définition de la structure de l'équipe de recherche Thème 1 et Thème 2
- Définition de 2 sujets de thèses en Thème 1 et 2 sujets de thèse en Thème 2
- Choix de 6 campus expérimentaux

6.15 BATTWIN FLEXIBLE AND SCALABLE DIGITAL TWIN PLATFORM FOR ENHANCED PRODUCTION EFFICIENCY AND YIELD IN BATTERY CELL PRODUCTION LINES

Partenaires : Politecnico di Milano; University of Oldenburg; CESI; ENSAM; CNAM; Verkor SA; COMAU SPA; Kungliga Tekniska Högskolan; Upcell Alliance; Cambridge Nanomaterials Technology Ltd.; Institute for Computer Science and Control; Sunlight; Ansys UK Ltd.; Sivas University of Science and Technology; Syxis Vsi; N-ABLE; Schneider Electric Automation Gmbh; Bureau Veritas Italia Spa.

Appel à projet : HORIZON-CL5-2023-D2-01-03

Budget global du projet : 6,9 M€

Lancement du projet : 1er décembre 2023
Durée du projet : 42 mois

CESI LINEACT avec HESAM Université participent au projet européen BATTwin (Plate-forme de Jumeaux Numériques flexible et évolutive pour améliorer l'efficacité et le rendement des lignes de production de cellules de batterie), lauréat de l'appel « Jumeaux numériques avancés pour les lignes de production de cellules de batteries » (Batt4EU Partnership) - HORIZON-CL5-2023-D2-01-03, dans le cadre d'Horizon Europe.

Le consortium BATTwin coordonné par Politecnico di Milano, a débuté en décembre 2023 pour une durée de 42 mois, avec un budget de 6,9M€. Il regroupe 16 partenaires de 10 États membres de l'UE et du Royaume-Uni, dont 10 entreprises, 4 PMEs, ayant une expérience approfondie et équilibrée de la fabrication de batteries et des domaines du numérique et du génie industriel. Pour une transformation durable de l'industrie européenne des batteries, BATTwin vise à concevoir, développer et expérimenter une nouvelle plateforme de jumeaux numériques soutenant une approche de fabrication zéro défaut améliorée numériquement qui soit :

- Basée sur la connaissance et explicable : capable d'intégrer les jumeaux numériques dans des flux de travail axés sur les objectifs et centrés sur l'Humain, en exploitant des données de production pour améliorer la connaissance de la dynamique des étapes critiques du processus,
- Extensible : capable d'augmenter les performances pour différents niveaux de volume de production,
- Flexible : capable de prendre en compte dans un cadre multi-échelles les dynamiques des processus ou une ligne de production,
- Robuste : applicable aux différents processus de production (chimies, géométries et conditions des batteries) en intégrant des jumeaux numériques multi-physiques, axés sur les données et hybrides (matériaux/équipements/systèmes), combinés à la mise en œuvre d'un passeport numérique de la batterie et du modèle de données associé pour la traçabilité inter-étapes.

Ce projet est coordonné pour CESI LINEACT par David Baudry, Directeur de Recherche CESI et implique une action de recherche comprenant une thèse co-encadrée par Belgacem Bettayeb, Enseignant Chercheur sur le Campus de Lille, en collaboration avec l'ENSAM Campus de Lille sur le contrôle de la production d'un système de fabrication de batteries, intelligent reconfigurable et écologique par la modélisation et l'optimisation d'un jumeau numérique.

Ce projet vient ainsi renforcer notre expertise sur les jumeaux numériques industriels et dans les domaines des transitions numériques et énergétiques.

6.16 EDLB ECOLE DE LA BATTERIE

Partenaires : Verkor (Leader), AFPA, CEA INSTN, CESI, CMQe Smrt Energy Systems Campus, CORYS, EBA250, CMQe Auto'Mobilités, Grenoble INP, IMT CCI Grenaoble, le Cnam, Tenerrdis, Pôle Formation Isère, IUT Lyon 1.

Appel à projet : France 2030 AMI Compétences et Métiers d'Avenir Saison 1

Budget du projet : 5,9 M€
Budget CESI du projet : 481 k€

Lancement du projet : novembre 2022
Durée du projet : 60mois

Résumé :

L'Ecole de la Batterie est une école en réseau, le projet résulte de la coordination de 16 acteurs spécialisés dans les enjeux technologiques et industriels d'avenir qu'ils soient des entreprises de l'écosystème de la batterie, des pôles de compétitivité, cluster, laboratoires et organismes de formation à l'échelle nationale

Les quatre objectifs majeurs de l'école sont :

- Consolider l'existant : Valider et faire évoluer la cartographie des besoins des entreprises et des manques côté formation.
- Former les formateurs : Créer un réseau d'experts et de lieux de connaissances dans le domaine de la batterie pour permettre de transmettre des connaissances de pointe.
- Créer des parcours pédagogiques spécifiques à la batterie : Mettre en place des parcours de formations en lien direct avec industriels et leurs besoins régionaux et nationaux
- Attirer les talents à travailler dans l'industrie de la batterie : Attirer les talents du plus jeune âge jusqu'au salarié et aux personnes en reconversion.

Les programmes de formation incluent des méthodes d'enseignement innovantes basées sur des ateliers inter-niveaux, du mentorat et l'usage du digital, avec l'utilisation de jumeaux numériques, de simulations dynamiques ou encore de réalité virtuelle.

Le projet ambitionne de former chaque année 1600 personnes aux métiers de la production, de l'ingénierie, du génie industriel, des bureaux d'études dans les champs de l'électrochimie, de la thermique, de la mécanique ou du management d'équipe. D'ici 2030, 8000 personnes au minimum seront formées aux métiers de la batterie, ce qui correspond au minima des besoins locaux

Actions réalisées en 2023 :

- Conception des contenus de formation de l'option "Stockage d'énergie électrique" ingénieur généraliste CESI.
- Lancement de la thèse de doctorat de Sarah OUARAB intitulée "Caractérisation des affordances d'un Système Cyber-Physique de Production, basée sur une perception multimodale des interactions humains-systèmes".

6.17 CAIRE

Partenaires : ENSAM(Leader), CESI, le Cnam, Paris School of Business, Université de Bourgogne, a Région Nouvelle-Aquitaine, la Région Normandie, Dijon Métropole, la Communauté Urbaine Creusot Montceau, Cap-Digital, le Pôle TES et NAE - Normandie AeroEspace.

Appel à projet : France 2030 AMI Compétences et Métiers d'Avenir Saison 1

Budget du projet : 12.9 m€
Budget CESI du projet : 5 m€

Lancement du projet : septembre 2023
Durée du projet : 60mois

Résumé :

Les métiers connaissent ou connaîtront à court terme des mutations fortes liées à l'intégration des systèmes d'Intelligence Artificielle (IA) dans le quotidien tant personnel que professionnel de tout un chacun. Or, les ruptures technologiques et sociétales rendues possibles par l'IA nécessitent des besoins nouveaux en compétences et peuvent générer des risques liés à de mauvais usages ou des réticences si l'on ne dispose pas des notions qui en permettent une juste compréhension.

Il est donc essentiel de former massivement au fonctionnement des systèmes d'IA tout en développant le sens critique des différents acteurs. Il s'agit à la fois de favoriser un usage conscient et éclairé de l'IA dans tous les métiers et secteurs d'activité et d'encourager l'orientation vers ce domaine à forte croissance d'emploi.

Le projet CAIRE vise à contribuer à l'acculturation des professionnels dans un large spectre de domaines métiers en développant des formations répondant à ces enjeux. Ainsi, CAIRE ambitionne de doter les apprenants d'un ensemble de savoirs et de compétences leur permettant de s'approprier l'IA et d'accompagner son intégration au sein des entreprises.

Si les étudiants en formation initiale des cinq établissements partenaires sont la cible prioritaire du projet, les personnels des établissements du consortium, les professionnels des secteurs privé et public ainsi que les demandeurs d'emploi et les citoyens en reconversion professionnelle sont également destinataires de ces formations. En effet, CAIRE a pour ambition de former 28 000 personnes à travers tout le pays pendant toute la durée du projet.

Les données d'apprentissage collectées, ainsi que les pratiques et usages identifiés durant le projet feront l'objet d'une valorisation scientifique au niveau international dans les domaines des sciences de l'éducation et de la gestion des organisations au travers notamment de travaux de recherche conduits par CESI.

Les retours d'expériences des partenaires sur la mise en œuvre et l'évaluation d'un tel dispositif de formation seront, eux, partagés dans un livre blanc.

CAIRE se distingue par le choix d'une approche transdisciplinaire, l'intégration des notions d'éthique et de soutenabilité, et une capacité à toucher un public nombreux et diversifié. Le projet apportera ainsi une contribution forte au développement des compétences nécessaires pour l'accélération du déploiement national d'un usage maîtrisé de l'IA.

25 CAMPUS CESI EN FRANCE

—