



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



LE JUMEAU NUMÉRIQUE À L'UBS

Université
Bretagne Sud
ubs:

www.univ-ubs.fr

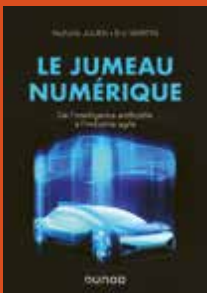
Ce document s'adresse à tous ceux qui sont curieux de comprendre comment on peut innover autour des usages du numérique dans notre quotidien.

Il présente de nombreux projets de recherche passés et actuels ainsi que les démarches qui animent les chercheurs de l'UBS afin de développer des outils accessibles et durables.

En 2021, l'Université de Bretagne met en place une stratégie de recherche à travers des écosystèmes dont celui sur l'Industrie du futur qui porte un axe Jumeau numérique piloté par Nathalie Julien.

Ce sera l'occasion de fédérer plus de 50 chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs de différents domaines technologiques mais également des ergonomes, des juristes et des économistes autour de projets innovants.

Ce document met en avant les résultats de cette aventure pionnière concrétisant une vraie démarche transdisciplinaire et le savoir-faire unique de l'UBS.



Nathalie JULIEN
et Eric MARTIN,
deux enseignants
chercheurs de l'UBS,
sont les auteurs du
seul ouvrage en
français sur le
thème du jumeau
numérique, publié
chez Dunod en 2020.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

MAIS QU'EST-CE QU'UN JUMEAU NUMÉRIQUE ?	4
--	----------

PARTIE 1

À QUOI ÇA SERT ?	7
-------------------------	----------

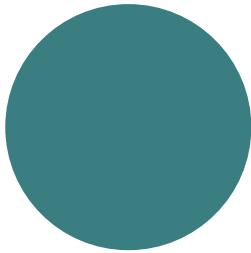
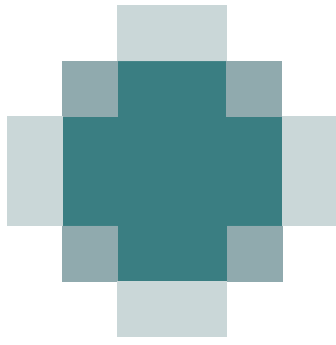
▶ Concevoir des produits personnalisés	8
• Un outil directement sur tablette ou téléphone	
• Un jumeau pour plus d'interactivité	
▶ Améliorer les procédés de fabrication	11
• COMPOSITIC : un plateau haute technologie pour la fabrication 3D	
▶ Favoriser l'habitat durable	14
• Créer de nouveaux matériaux bio sourcés	
▶ Permettre la traçabilité	16
• La traçabilité, pour les petites entreprises aussi	
▶ Concevoir de nouveaux matériaux	18
• Perfectionner les bioréacteurs pour déployer les bioplastiques	
▶ Prédire et décider	21
• Prédire la qualité des produits, une plateforme de recherche et de formation pour simuler les conditions réelles	
• La maintenance vers l'industrie 4.0	
• Le jumeau pour l'aide au maintien à domicile Le jumeau pour l'aide au maintien à domicile	
• En agroalimentaire comme en agriculture : anticiper et prédire les cycles de vie	
• Face à l'afflux touristique : un jumeau numérique du territoire	

PARTIE 2

COMMENT FAIRE ?	37
------------------------	-----------

▶ Penser l'architecture	38
• L'architecture du jumeau numérique – les bonnes pratiques	
▶ Collaborer avec l'humain	40
• Le jumeau numérique, au centre de la coopération entre l'humain, modèles et données	
▶ Partager les données	42
• Un jeu d'équilibriste et des réglementations naissantes	
• Déployer un jumeau, des freins persistent	
• Les collaborations, une passerelle entre deux mondes	

ANNUAIRE CHERCHEURS	49
----------------------------	-----------



INTRODUCTION

MAIS QU'EST-CE QU'UN JUMEAU NUMÉRIQUE ?

C'est souvent la première question qui vient lorsqu'on aborde le sujet.

La première apparition du jumeau numérique date des années 70 et de la célèbre mission Apollo 13. De graves avaries ont mis l'équipage en difficulté et c'est en lançant différents scénarios sur des simulateurs mis en réseau que la NASA a pu définir les bons paramètres pour permettre à l'équipe de revenir sur terre sains et saufs.

Mais c'est seulement en 2003 que Dr Mickael Grieves introduit le terme *Digital Twin* comme l'ensemble des données liées à un produit tout au long de sa vie. Il faudra attendre les années 2010 pour en voir l'application tout d'abord dans le domaine de l'aérospatial avant de se diffuser dans l'ensemble de l'industrie. Entretemps, la technologie a évolué et le concept aussi.

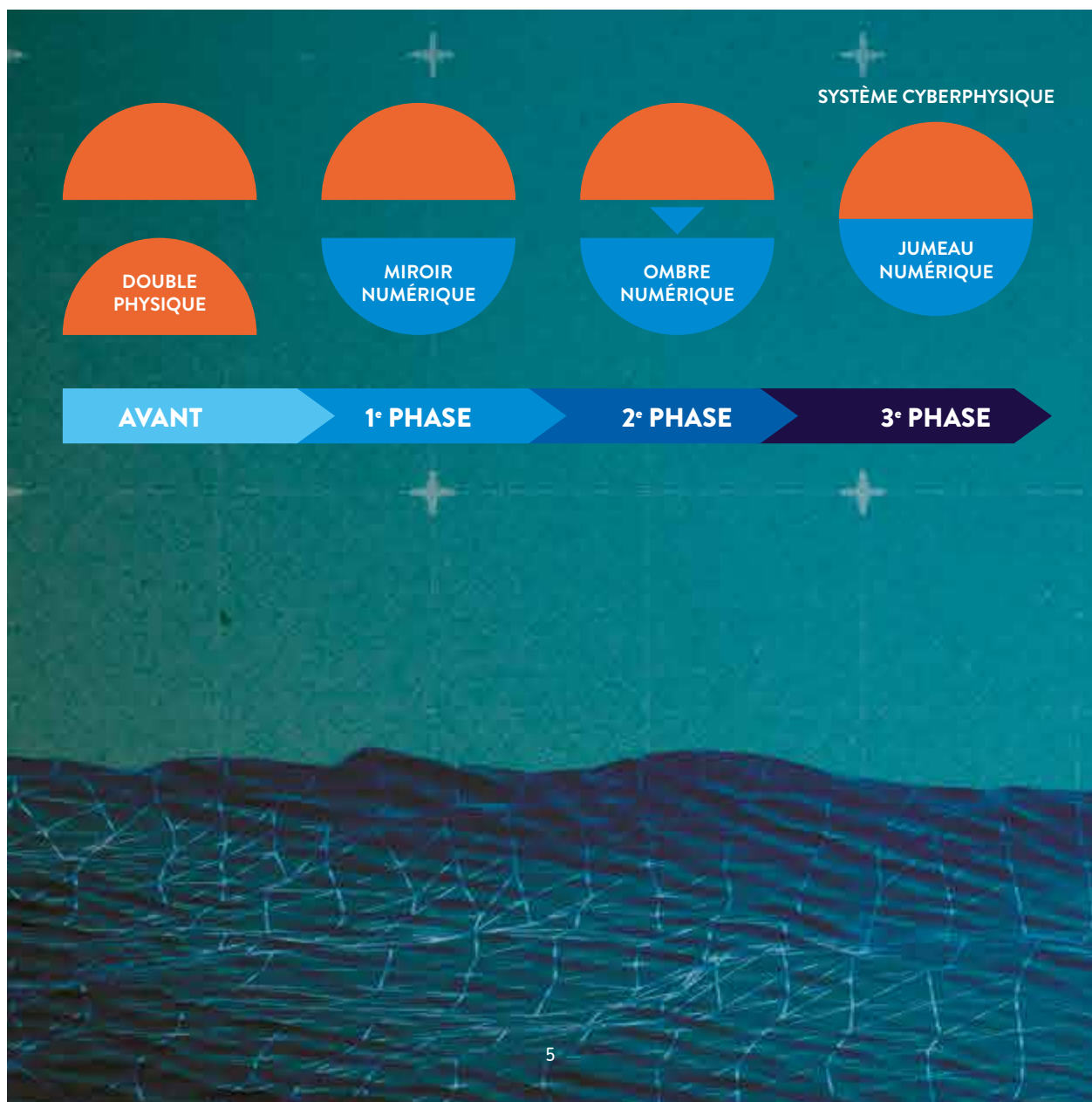
Ce n'est qu'en 2021 qu'est publiée la première norme ISO 23247 définissant le jumeau numérique sous l'angle de la production comme « *Une représentation numérique adaptée à l'usage d'un élément de fabrication observable, avec un moyen de permettre la convergence entre l'élément et sa représentation numérique à une vitesse de synchronisation appropriée* ». D'autres normes sont actuellement en cours d'élaboration mais autant dire que c'est un concept très récent.

Si la vision du jumeau numérique diffère selon les domaines d'activité, on peut cependant en donner une définition générique ainsi que certaines caractéristiques pour pouvoir s'y retrouver.

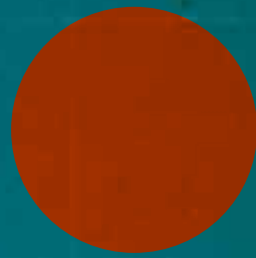
Le jumeau numérique est une représentation virtuelle dynamique d'un objet qui peut être un produit, un process ou un service, constituée des éléments suivants :

- Une architecture intégrant les **données et les modèles** au niveau de précision adapté,
- Une **continuité numérique** avec un flux bidirectionnel continu entre le monde physique et le monde numérique,
- Des capacités d'**interaction**, d'**évolution**, de **prédiction**,
- Un contrôle partiel ou total de l'objet ou de son environnement par une **boucle de décision formalisée**.

Une caractéristique majeure est la maturité du jumeau numérique. Si auparavant, on développait souvent des doubles physiques d'un objet réel telle que les maquettes des bâtiments en génie civil, une première phase de virtualisation est le **miroir numérique**, modèle virtuel statique de l'objet sans communication directe avec le monde physique. Dans une deuxième étape, l'objet peut être équipé de capteurs permettant d'en tracer l'activité ; c'est l'**ombre numérique** caractérisée par un flot unidirectionnel continu du monde physique vers le monde virtuel. Enfin, le jumeau numérique n'apparaît qu'ensuite lorsqu'une communication bidirectionnelle continue est établie entre monde physique et monde virtuel.







PARTIE 1

À QUOI ÇA SERT ?

CONCEVOIR DES PRODUITS PERSONNALISÉS

Et si le jumeau numérique permettait d'adapter la création directement à partir du besoin ? Avec le projet DISCO, Jean-Marc CADOU, Professeur des Universités en Mécanique et Matériaux, explore la personnalisation de produits. Le nom de ce projet est la contraction de Dimensionnement Interactif de Structures Composites, en effet il ne s'agit pas seulement de personnalisation, mais bien d'une personnalisation interactive. Que ce soit pour des mâts de planches à voile, des cannes à pêche ou même des raquettes de tennis, l'équipe de recherche a planché sur un modèle informatique qui puisse permettre des variations en fonction des besoins du client et du matériau choisi.

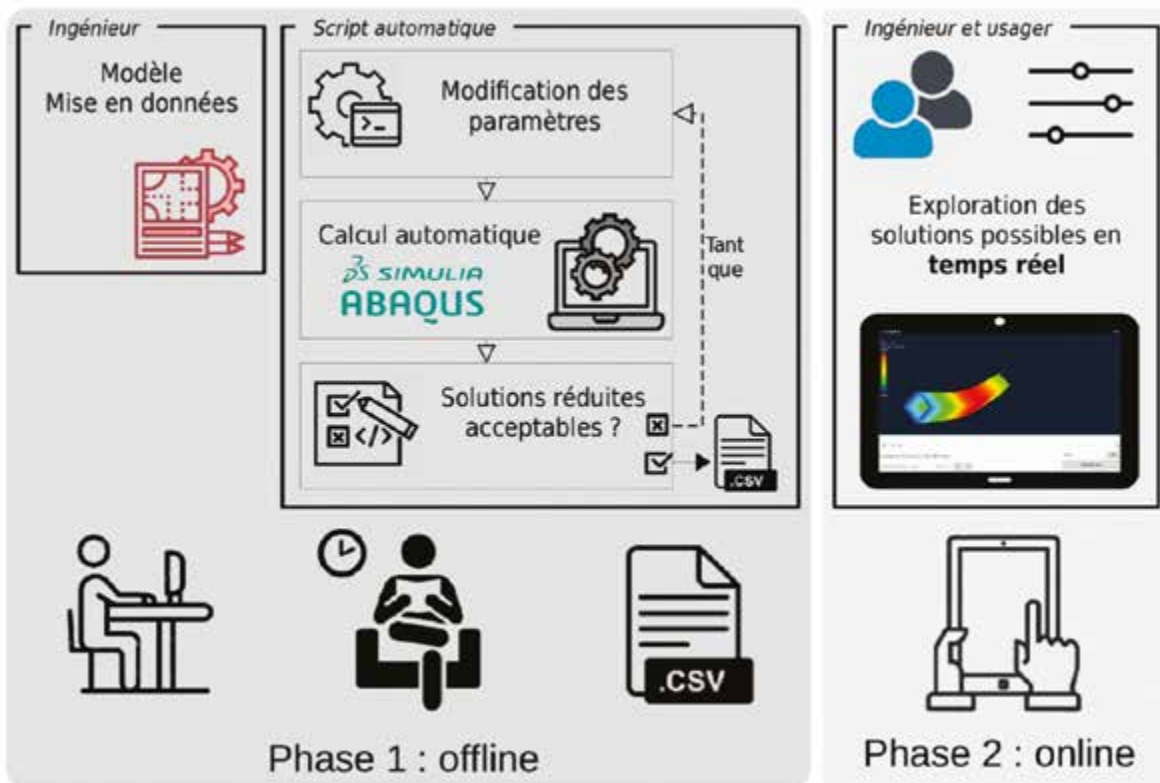
Financé par la région Bretagne, ce projet regroupe l'IRDL et des partenaires industriels. Les entreprises Nautix Guidel et Fiiish étaient les porteurs de projets. « Nautix voulait des mâts de planches à voile, Fiiish des cannes à pêche. Ils voulaient des outils pour répondre en temps réel aux demandes de leurs clients. Plutôt habitués à de grandes séries, ici l'idée était de créer du sur-mesure en petites séries de 10 pièces ». Des mâts rigides ou plus souples, selon les sensations voulues, le client peut, grâce au modèle informatique, matérialiser ses envies, ses contraintes. Jean-Marc Cadou est chercheur à l'UBS depuis 2003, spécialiste des structures composites, il a en amont étudié le comportement des matériaux sollicités et leurs réactions en fonction de la houle, de la présence d'un poisson sur la canne, de l'usage d'un foil, etc.

UN OUTIL DIRECTEMENT SUR TABLETTE OU TÉLÉPHONE

La simulation, outil de dimensionnement de bureau d'étude y compris, se décline alors rapidement sur téléphone ou tablette directement dans l'usine. « Le fabricant, le concepteur et le client sont dans la même boucle ». Lancé en 2020, DISCO s'insérait dans le projet GwalennDu. En 2021, pour aller plus loin, le laboratoire IRDL sollicite la SATT (société d'accélération du transfert de technologie) et obtient un projet de maturation pour se diriger vers l'industrialisation, deux ingénieurs projet rejoignent l'équipe l'année suivante. Ils planchent alors sur une appli commercialisable qui est aujourd'hui fonctionnelle. « Decathlon était intéressé mais eux ne voulaient pas d'une appli sur téléphone ou tablette, ils voulaient une appli SaaS sur le web afin d'être utilisée partout. Le gros du travail avec la SATT a été ce transfert vers un SaaS ». Aujourd'hui, fonctionnel sur Android ou SaaS, le modèle peut servir de démonstrateur de structures composites ou encore de calcul de réservoirs hydrogène.

UN JUMENTO POUR PLUS D'INTERACTIVITÉ

Le jumeau numérique dans tout cela ? Il intervient à chaque étape, faire automatiquement une correction sur l'application, réaliser des simulations en temps réel, penser un outil capable d'être modifié dès la fabrication, mais aussi être capable d'être réactif et de modifier certains paramètres. « Le premier démonstrateur était assez cadré, le cahier des charges de départ prenait en compte la géométrie, la masse ou la raideur. Dès que nous sommes passés à la maturation, nous avons voulu intégrer beaucoup plus de possibilités ». Cela passe notamment par l'immédiateté, mais aussi davantage de contraintes. « Decathlon pour ses raquettes de tennis a des moules à respecter, des contraintes géométriques, des contraintes de masses aussi. En fibres carbone, elles sont raides et très légères, idéales pour la compétition. En fibres de verre, elles sont un peu moins raides et surtout moins chères, ce qui est plus adapté à la plaisance ».



Le temps de recherche appliquée arrive cependant à son terme. « C'est toujours un exercice d'équilibriste entre la recherche et la recherche appliquée. Mais sur deux ans nous avons formé un étudiant du master et recruté après. Remi CLOAREC poursuit par une thèse au laboratoire des Arts et Métiers à Paris, reconnu internationalement sur l'Intelligence Artificielle et la Science des données pour les Sciences de l'Ingénieur. Nous ne sommes pas capables de financer ce genre de thèse, mais cela reste une belle réussite pour nous. Le deuxième ingénieur, Guissel DONGMO est docteur en math, il a travaillé sur l'aspect mathématique du projet ». Nul doute que le calcul en temps réel a encore de beaux jours devant lui, notamment grâce à l'intelligence artificielle.

LE JUMENT POUR RELOCALISER ?

« On avait le souhait de peut-être refabriquer en France. Cela passerait par une méthode d'enroulement filamenteuse automatisée. Cela nous permettrait aussi d'utiliser des matières recyclables qui ont besoin d'être manipulées à très hautes températures, ce qui est impossible avec le moulage manuel actuel. En automatisant, on réduit les coûts de production. Le jumeau numérique avait pour but de modéliser le comportement de la matière pour pouvoir proposer de plus petites séries en faisant du sur-mesure. Nous avons des besoins communs avec Nautix alors pourquoi pas mutualiser ! », relate Louis LEVEUF de l'entreprise Fiiish.

Si le projet a montré qu'il était encore trop tôt pour mettre en place ce processus, notamment par certaines contraintes techniques et technologiques, « le projet nous a permis de gagner en maturité, de déposer un brevet, et un second pourrait l'être également. C'est un apport sur notre savoir-faire et notre expertise dans le monde de la canne à pêche. Cela a aussi renforcé nos relations avec nos partenaires Nautix, IRMA, CompositIC... Actuellement un doctorant de l'IRDL travaille sur la formulation d'une matière très souple et biodégradable dans le milieu marin. On cherche à penser la pêche de demain ».

AMÉLIORER LES PROCÉDÉS DE FABRICATION

COMPOSITIC : UN PLATEAU HAUTE TECHNOLOGIE POUR LA FABRICATION 3D



Plateau spécialisé dans les polymères et composites depuis 10 ans, Compositic, développé par Yves GROHENS, chercheur à l'UBS, réalise une véritable jonction entre chercheurs et entreprises, mais aussi entre sciences et technologies. À l'intersection entre la science et l'industrie, le plateau décline son savoir sur les matériaux, comme sur la partie numérique, de la conception jusqu'à sa dégradation. L'élaboration d'un jumeau numérique, grâce à l'association de nombreux paramètres, permet d'aller encore plus loin dans la maîtrise du cycle de vie.

Spécialisé sur les matériaux polymères et composites, Compositic s'est créé une place de choix dans l'univers de l'impression 3D. Au-delà des travaux de recherche, c'est aussi un espace de soutien des innovations du territoire en mettant à disposition un bureau de Recherche et Développement, et des moyens pour les entreprises. « En 2024, 110 entreprises ont sollicité le plateau pour 1.8 M€ de recettes, auxquels s'ajoutent des projets collaboratifs et prestations. Compositic est spécialisé dans la mise en œuvre de composites innovants via la conception de matériaux et procédés automatisés autour de la technologie robotisée de placement de fibres et de l'impression 3D. », précise Cyran LE GUENNEC, ingénieur d'étude.

Pour aller plus loin et rester à la pointe, le jumeau numérique devient un incontournable afin d'explorer l'ensemble de la chaîne de vie, de la composition jusqu'à la dégradation de l'objet. Il s'agira notamment d'établir de nouvelles méthodologies. « C'est très conceptuel encore aujourd'hui. On avait déjà des projets collaboratifs qui y touchaient comme Avatar 1 et Avatar 2, mais le jumeau numérique n'était pas compris par tout le monde », reprend-il. L'échelle TRL (technology readiness level) qui présente la démarche fondamentale vers l'industrialisation en termes de ressources et de moyens pourra intégrer des algorithmes d'intelligence artificielle à ce cycle de vie dans le but de prendre des décisions (arrêt de production, prédiction de fin de vie du produit, etc.).

QUELS BÉNÉFICES DU JUMENTU NUMÉRIQUE ?

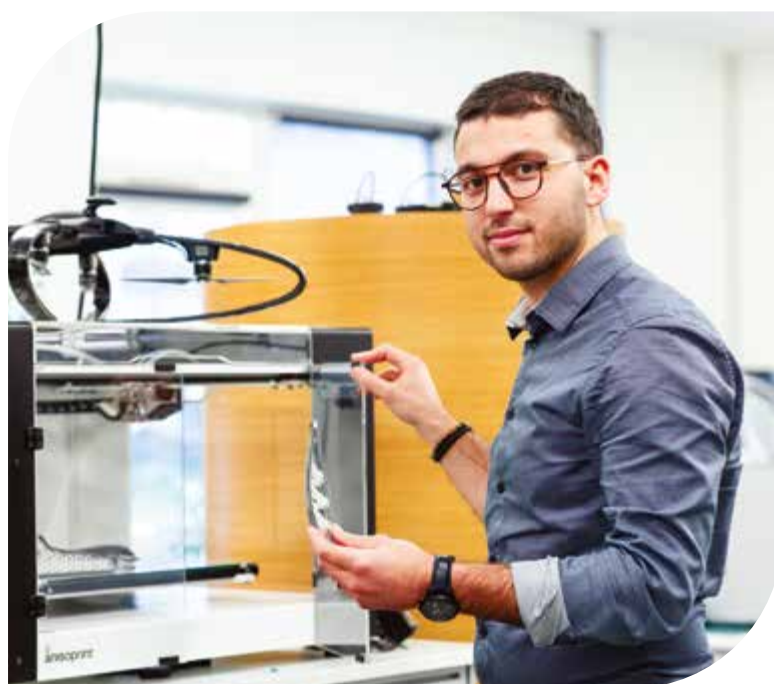
En apportant des réponses sur des questions essentielles :

- Améliorer la dépose du matériau
- Améliorer la qualité de la pièce
- Améliorer les performances des procédés
- Apporter une aide à la décision à différentes échelles

Lancé depuis 3 ans, le projet DIGIPULSE 3D va s'étendre vers une plateforme collaborative avec comme axe central l'impression 3D et le jumeau numérique. Ceci pour la formation, les entreprises, l'expertise dans la recherche technologique et l'industrie. Avec la machine robot KUKA et extrudeuse Dyze pulsar, ils pourront travailler des thermo-plastiques composites. « On peut faire des strates très complexes mais on observe des variations de température. De plus on ne sait pas si la matière va bien évoluer dans le temps. Ainsi, peut-on prédire une dérive de la machine ? », soulève Cyran avant de nous guider vers l'équipe qui planche sur la méthodologie de conception du jumeau, de l'imprimante jusqu'à la décision.

« Le Jumeau numérique peut analyser le passé avec le stockage, le présent avec les capteurs et le futur avec les modèles et calculs »

Cyran LE GUENNEC,
ingénieur d'étude



En attendant d'atteindre la possibilité d'un jumeau collaboratif, c'est-à-dire autonome, « des métiers de concepteur-coordonateur de jumeau numérique vont naître ». Avec son déploiement, c'est aussi une nouvelle façon de voir la conception et l'industrialisation qui va évoluer. « Il y a des pièces pour lesquelles il n'existe pas encore de capteurs. De plus, on ne peut pas étudier l'impact de la présence d'un capteur dans la matière ».



Imane IRCHACHEN, ingénieure mécatronique travaille sur le projet GEMINI 3D avec Jérôme LE CORRE, assistant ingénieur. Ils s'intéressent tout particulièrement à la continuité numérique. « Nous avons mis en place des capteurs, sur la tête d'extrusion, sur la table chauffante, et sur un boudin de matière. La base de données recueillie rejoint un espace collaboratif, open, puis commercial sur 3D Expérience. L'objectif est de connecter toutes nos données pour ne pas avoir besoin de rester à côté », explique Imane. Le jumeau créé permettra de réaliser des simulations numériques, d'utiliser l'intelligence artificielle pour prédire des défauts dans la pièce et avoir la possibilité d'intervenir en modifiant des paramètres. « L'intérêt de ce logiciel est de réunir toutes les personnes travaillant sur le jumeau et mettre en commun nos difficultés », ajoute Cyran. Le matériau utilisé ici est un mélange de PLA et de poudre de lin, pour faire des tests à moindre coût avec un matériau bien connu du plateau

UNE PLATEFORME D'EXCELLENCE POUR LA 3D

Le projet GEMINI 3D* permettra d'aller plus loin en construisant une véritable plateforme de démonstration à CompositIC, en collaboration avec l'IRDL, les écoles d'ingénieurs ENSIBS, IMT-A et ENSTA, le LabSTICC, pour assurer des formations continues et des démonstrations auprès des entreprises partenaires. « Ce sera un espace dédié au jumeau numérique pour l'impression 3D afin de valoriser les partenariats avec du personnel dédié d'ici 2026. Une opportunité pour montrer comment le jumeau numérique peut interagir et aider les gens à monter en compétence », indique Nathalie JULIEN, responsable du projet. Plateforme d'excellence académique financée par BPI France et labellisée par le pôle de compétitivité EMC2.

**Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence « ANR-23-INDF-0001 ».*

FAVORISER L'HABITAT DURABLE

CRÉER DE NOUVEAUX MATÉRIAUX BIO SOURCÉS

Et si on faisait confiance aux matériaux géo et bio-sourcés pour réaliser le virage vers l'habitat durable ? Terre, paille, bois, pierre de taille, ces matériaux existent depuis toujours, pourtant aucune norme actuelle ne permet d'en approuver leur durabilité, ni même leur qualité dans la construction. La norme environnementale RE 2020 entend bien imposer une diminution de l'empreinte carbone et un changement radical dans la façon de construire, il est temps d'anticiper.



« On se sert de
la donnée du passé
pour prédire l'avenir »
Arnaud PERROT

Avec son équipe, Arnaud PERROT, enseignant-chercheur en génie civil, a travaillé à l'élaboration d'une brique de terre. Il serait intéressant de se rendre compte, en temps réel, de son état, mais aussi du bâtiment dans lequel elle se trouve. Ceci est possible avec l'usage de capteurs, généralement utilisés en agronomie, pour quantifier humidité, température, pression capillaire, teneur en eau, etc. « Des capteurs sont placés un peu partout, aujourd'hui on peut en avoir à prix accessibles. Quelques valeurs enregistrées tous les jours suffisent pour avoir l'état du bâtiment. Ces matériaux craignent davantage l'humidité que la chaleur. Ils sont sensibles à l'eau et leur comportement se modifie avec l'humidité de l'air », souligne-t-il. Grâce à la paille et à l'argile on va pouvoir générer une matière isolante, tandis que la terre va pouvoir être utilisée dans la structure des bâtiments jusqu'à trois étages.

Un miroir numérique est constitué, qui est progressivement alimenté par les données issues de la science des matériaux et de ces capteurs. Ceci permettra d'anticiper leur fonctionnement face au changement climatique et concernant l'évolution du matériau en lui-même. « On voit comment le bâtiment fonctionne au niveau de l'inertie, du déphasage thermique, de l'absorption de la chaleur le jour et de sa restitution la nuit. Le jumeau numérique permet de faire des projections, grâce à l'historique du matériau, on va pouvoir calculer sa durée de vie. On se sert de la donnée du passé pour prédire l'avenir, ce qui va permettre un inventaire de tous les impacts sur le bâtiment, de 10 à 100 ans », se réjouit le chercheur.



Pour cette thématique, l'UBS travaille avec BEAM cube sur la démarche jumeau numérique dans le monde de la construction et sur la méthode de mise en œuvre et la récolte des données issues des capteurs. Mais aussi avec le groupe Pigeon pour les matériaux. L'entreprise de travaux publics a déployé depuis quelques années un bureau de R&D, avec notamment la mise en place d'un laboratoire commun avec l'UBS : LCBTP COLOR (construction with local ressources). Celui-ci permet de développer des solutions constructives à l'échelle industrielle. Le but est notamment de lancer de nouveaux matériaux constitués de terre avec un vertueux mélange de paille chanvre-lin. Le jumeau numérique permettra à terme d'obtenir une plateforme sans précédent de données structurées spécifique au domaine de la construction, en s'assurant de la durabilité et de la performance de ces matériaux écologiques.

PERMETTRE LA TRAÇABILITÉ

LA TRAÇABILITÉ, POUR LES PETITES ENTREPRISES AUSSI

Si les grandes entreprises emploient allègrement les nouvelles technologies, ces dernières ne sont pas toujours accessibles aux plus petites, ni financièrement, ni techniquement. En effet, pour manier les nouveaux outils, encore faut-il des techniciens qualifiés dans leur mise en œuvre. Dans le domaine de l'alimentaire, elle peut même être indispensable pour garantir au client la traçabilité du produit et rester concurrentiels face aux mastodontes.

**ILLE AU PRE,
Crémerie
Fromagerie Artisanale
& Bio, Betton.**
Photo Fanny Guennoc



Avec le projet TERRA* (Transition numérique des producteurs et transformateurs alimentaires) la technologie vient en soutien aux petites entreprises de l'agroalimentaire. Tout est né de la rencontre de deux femmes : la professeure d'université Nathalie JULIEN de l'UBS et Hélène FÉCHANT d'Alma Food, entreprise d'étiquetage basée à Bruz (35). « Quand j'ai rencontré Hélène Féchant, fin 2021, on a vu qu'on avait des valeurs communes : mettre le numérique au service d'une production responsable, respectueuse de l'humain et de l'environnement. On a mûri le projet pendant un an ».

D'autres structures ont progressivement rejoint le projet : l'entreprise DNR Sys de Rennes qui fabrique des capteurs pour le domaine agricole, mais aussi, depuis janvier 2023, le CETA, centre de formation autour de l'agroalimentaire. Initialement intéressés par les questions de logistique, l'équipe de TERRA a évolué pour s'intéresser au process en lui-même afin de déployer un jumeau numérique. Il concernera la sécurité du produit alimentaire, mais aussi l'optimisation de sa mise en œuvre.

« Le jumeau numérique peut aider à optimiser et permettre de faire des économies. C'est également un beau levier de changement. Comme il est transverse, il implique tout le monde. C'est un élément fédérateur, et ceci pas que pour la technique, il y a l'humain et le système », expose Nathalie JULIEN avant de reprendre. « Le consommateur n'a plus confiance. Pour sortir du lot, les petites entreprises doivent se démarquer, cela passe par des éléments d'information qui redonnent confiance ».

Des outils pour co-construire

Un projet d'une telle envergure avec des acteurs de tous horizons demande une bonne adhésion. C'est avec cette préoccupation en tête que Fanny GUENNOC, enseignante-chercheuse en ergonomie depuis 2020 s'est greffée au projet en avril 2023. « Si on fait un jumeau numérique pour les agriculteurs, il faut comprendre leurs besoins, puis les besoins de tous les partenaires, jusqu'aux informaticiens, tout en étant rentable », explique-t-elle. « Il y a beaucoup de préjugés, les gens ne se connaissent pas et se méfient. On sait recueillir les besoins, mais pas co-construire et c'est tout le sujet de mon travail ».

De nombreuses rencontres auront permis de mieux appréhender le projet et de tendre à un projet commun. « Il est important de trouver un consensus, comment on gère la donnée, qui partage quoi, comment la stocker, etc. Il existe beaucoup de réticence, il faut les rassurer, montrer qu'on est dépendant les uns des autres ». Le projet est complexe, avec des expertises variées qui ne se comprennent pas forcément, n'ont pas les mêmes enjeux ni les mêmes problématiques ou temporalités. Il montrera cependant qu'en cherchant à trouver un langage commun, les différences peuvent se lisser pour embrasser des intérêts partagés bien plus vertueux. « Beaucoup dans le monde agricole n'aiment pas le numérique, mais sur le plan de la qualité, savoir ce qui se passe en temps réel permet de ne pas gâcher des productions, et donc de l'argent et de l'énergie », ajoute Fanny GUENNOC.

« POUR RENDRE ACCESSIBLE IL FAUT STANDARDISER »

« Notre objectif : un outil standardisé pour plusieurs agriculteurs. Ils n'achètent que l'usage qu'ils font du logiciel », lance Helène FÉCHANT. Cette dernière en est bien consciente, un agriculteur qui veut transformer et vendre sa production en circuit court doit exercer beaucoup de métiers différents. Pour lui simplifier la vie, elle souhaite leur rendre accessible des outils numériques qui sont actuellement trop chers ou peu accessibles techniquement à de petites entreprises. « Ces outils peuvent aider à la vente, à la logistique, à la qualité. En tant que consommateurs il y a beaucoup d'applications simples d'accès, mais il existe peu de choses entre ce qui est très intuitif pour le consommateur et les logiciels de l'industrie avec des paramétrages très compliqués ». Alma Food est spécialisé dans l'étiquetage, l'idée ici est de connecter ses données pour d'autres besoins pour créer un outil standardisé qui pourra s'adapter à différents domaines d'activités et aider les entreprises, de la production à la distribution. « À terme, 180 000 agriculteurs et artisans pourraient être concernés. Nous sommes allés à la recherche de personnes qui comme nous voulaient se rendre accessibles et interopérables ».

Le jumeau numérique devient ici un assistant, permettant de l'anticipation, mais aussi d'apporter du savoir-faire à partager. L'équipe a commencé par aller à la rencontre de producteurs laitiers, entre 120 et 140 présents en Bretagne sont concernés.

**Projet financé par la Région Bretagne et Rennes métropole*

CONCEVOIR DE NOUVEAUX MATÉRIAUX

PERFECTIONNER LES BIORÉACTEURS POUR DÉPLOYER LES BIOPLASTIQUES

Produire des bioplastiques grâce aux bioréacteurs c'est possible. Pierre LEMOCHKO s'y attèle avec son équipe de l'IRMA (Institut Régional de Matériaux Avancés) dans les locaux du centre de recherche Christian Huygens à l'UBS. Le jumeau numérique vise ici à leur permettre d'optimiser la production et multiplier les résultats.



« Les bioréacteurs sont utilisés dans beaucoup de domaines très différents. La machine à pain peut être considérée comme un bioréacteur, une cuve de fermentation de vin, les stations d'épuration, ou les méthaniseurs aussi. La biotechnologie est en essor pour créer de nouvelles molécules issues de champignons, d'algues, de levures.... Une équipe de chercheurs à Quimper travaille sur la modélisation des pathogènes, nous on veut de la multiplication », partage Pierre LEMOCHKO, ingénieur de recherche depuis 2015 à l'UBS, puis IRMA.

À noter que IRMA est devenue UBSIDE en juillet 2025, initiative conjointe entre l'Université Bretagne sud et la SATT Ouest Valorisation, destinée à l'innovation et à renforcer les liens entre la recherche académique et le secteur socio-économique. Elle réunit l'expertise scientifique et l'expérience des plateformes techniques pour offrir des services de pointe aux entreprises.

L'équipe possède deux bioréacteurs de 5 litres. Il s'agit de bombonnes en verre dans lesquelles sont déposées un milieu de culture, inoculé avec une souche bactérienne. Le contenant est relié à de nombreux tubes qui viendront alimenter le contenu, selon ses besoins, en sucre (glucose) ou en acides gras (dérivés d'huiles végétales). En induisant une carence en azote, les microorganismes vont stocker une forme de polymère : le PHA. Ce polyhydroxyalcanoate (PHA) est un polyester biodégradable. À l'issue d'une opération de 24 à 48h, ce sont 30 à 40g par litre qui seront extraits. Une production bien insuffisante pour imaginer développer une production industrielle par les petites entreprises, mais qui permet cependant d'étudier les variables avec beaucoup de précision. Surtout si l'équipe associe à sa démarche le développement d'un jumeau numérique. « Si d'autres domaines comme le nucléaire sont plus ouverts aux jumeaux numériques, cela reste rare dans l'alimentaire. Les petites entreprises parlent peu ensemble et ne ressentent pas le besoin de mettre en commun. Il existe aussi un manque de maturité technique et culturelle qui empêche de s'approprier ces outils ».

Détecter les problèmes techniques

Le projet FOOD3SA, porté par l'AUB (alliance universitaire de Bretagne), s'intéresse à toute la chaîne de production alimentaire, de la ferme au produit final ; 3SA pour Sécurité, santé, salubrité alimentaire. Dès son démarrage en 2023, inclure le développement d'un jumeau numérique est voulue pour perfectionner le contrôle qualité, le stockage ou encore la cybersécurité... Le jumeau numérique d'un bioréacteur peut être utilisé pour les produits alimentaires et la transformation d'aliments, mais aussi pour la réutilisation des déchets vers du bioplastique ou de la méthanisation. « Qu'est-ce qu'il faut intégrer, comment on se parle ? Un jumeau numérique peut intervenir à plein d'étapes différentes et comprendre plusieurs machines en plus du ou des bioréacteurs. C'est un travail assez long pour modéliser tout cela », relate Pierre LEMECHKO. Une tâche d'autant plus complexe que les paramètres sont continuellement mouvants et la dégradation des aliments aléatoire. Le projecteur est notamment mis sur l'état du matériel. En effet, avec une bonne association technologique, le jumeau pourra rapidement détecter des problèmes techniques comme un tube qui se bouche, une chute d'oxygène, un excès d'apport, etc.

« Avec un historique il pourra comparer ce qu'il se passe, s'il y a une déviation et éventuellement régler le problème. De plus, un ensemble de capteurs donne en temps réel une image de ce qu'il se passe. On va comparer les courbes via un enregistrement simple, tout en intégrant des possibilités d'alertes et d'interventions ». Jusqu'ici, pour maintenir le pH et donc la vie des micro-organismes, l'équipe ajoute de l'acide ou de la base grâce à des pompes automatiques. Mais si la sonde indique une chute brutale, il faut rapidement intervenir car elle est probablement défectueuse. De même, si le tube est bouché la pompe continuera à s'activer et fera déborder l'ensemble. « Nous travaillons avec le logiciel fourni et celui-ci ne voit pas les problèmes. Cela n'arriverait pas avec un jumeau numérique qui pourra repérer le problème technique, identifier la réelle qualité du milieu, appeler à faire un jet d'air comprimé si l'aération est bouchée, et décider de faire appel à un opérateur humain si une intervention physique est nécessaire » Une coupure d'eau ou de courant peut aussi mettre à l'arrêt toute la production. « Le fonctionnement est similaire pour la bière ou les productions de ferments laitiers, ils ont besoin de surveiller différents

paramètres et d'éviter les risques de contamination. Un bioréacteur cela coûte très cher donc le produit doit être de qualité et ne pas être jeté, cela demande une surveillance continue ».

« Selon la souche de micro-organismes utilisée et l'alimentation qu'on lui donne, le bioplastique extrait sera plus ou moins souple »

Pierre LEMECHKO



On le comprend, le jumeau numérique sera ici un véritable renfort pour surveiller le bon déroulement d'une production et éviter de perdre le fruit du travail mené en permettant un meilleur pilotage de l'appareil et des incidences. Mais au-delà de l'optimisation des coûts et de la sécurité, l'équipe de l'UBSIDE recherche également à aller au-delà des barrières du modèle économique actuel de production de bioplastiques et à explorer les méthodes de multiplication de matériaux, et même à perfectionner la création de nouvelles matières.

PRÉDIRE ET DÉCIDER

PRÉDIRE LA QUALITÉ DES PRODUITS, UNE PLATEFORME DE RECHERCHE ET DE FORMATION POUR SIMULER LES CONDITIONS RÉELLES

Au rez-de-chaussée de l'ENSIBS, école d'ingénieurs à Lorient, une véritable chaîne de production est devenue la plateforme de recherche et de formation SCAP. Créée en 2016 et régulièrement mise à jour et améliorée, elle est devenue le support idéal pour créer un jumeau numérique autour de l'amélioration de la qualité des produits, mais aussi pour explorer la maintenance prédictive.



Le principe ? Une chaîne de production de pizzas dotée d'un robot collaboratif, où l'on analyse la qualité des produits, celle des flux et leur gestion, la maintenance, l'ergonomie, mais aussi l'ensemble de la chaîne et des besoins gravitant autour, incluant des questions de cybersécurité. Elle sert de site de formation des étudiants qui à travers différentes séances de travaux pratiques vont explorer les mises en application sur une ligne grandeur nature. Alors que SCAP est la plateforme physique, JUPITER est son jumeau numérique.

La chaîne de production en réalité augmentée

Constituer un jumeau numérique peut permettre de mesurer la consommation de la ligne, sa vitesse, l'usure d'un convoyeur, soit de monter en compétence, mais aussi d'aller au-delà de ce qui est visible à l'œil nu. « L'objectif est que ce soit accessible techniquement et financièrement, de permettre aux petites entreprises de bénéficier de cette technologie et de faire évoluer leurs usages en standardisant des outils et en générant un socle commun », souligne Nathalie JULIEN.

Ce projet JUPITER a été lancé en septembre 2022, avec comme premiers opérateurs Kimberley VIARON, alors en 4^e année d'école d'ingénieurs, et Clément MICHEL, ingénieur d'étude. Ils se sont intéressés au développement d'un jumeau pour la maintenance prédictive et l'ergonomie des postes de travail grâce à la réalité virtuelle, et bientôt à la réalité augmentée. En effet, si le modèle est pour le moment développé sur logiciel avec réalité virtuelle, l'équipe est en train de développer l'usage de lunettes de réalité augmentée via lesquelles des informations pourront s'afficher, au fur et à mesure des déplacements de l'opérateur dans le monde réel.



Optimiser des choix, détecter une panne, déplacer la production sur une autre partie de la chaîne, lancer des alertes, mais aussi personnaliser en ajustant les temps de chaque étape de production par exemple, les possibilités sont multiples. Le jumeau numérique ainsi intégré va pouvoir interagir avec les situations réelles et, enrichi d'une grande quantité de données, faciliter la prise de décision et aider à monter en compétences.

Le Jumeau numérique au secours de l'agroalimentaire



Au-delà d'une chaîne de production au sein de l'université, les chercheurs vont aussi à la rencontre des entreprises et de leurs contraintes. Dès 2021 le projet ANTICIPA a été lancé pour explorer ces mêmes problématiques de la qualité des produits et des possibilités prédictives.

C'est ainsi qu'un travail se met en place entre partenaires académiques et industriels. Pâtisseries Gourmandes, entreprise basée à Loudéac, veut réduire l'ajout d'additifs alimentaires dans ses produits, car elle vise l'obtention d'un Cleanlabel. Productys, déjà en charge du logiciel de gestion de production de Pâtisseries Gourmandes entre dans l'aventure avec INRAE, qui a réalisé l'installation de capteurs sur les points sensibles de la chaîne de production et d'EQUASA qui en croise les résultats. « On peut obtenir un modèle de contamination et les prévoir à l'avance », annonce Mohammed ADEL HAMZAOUI, enseignant-chercheur à l'UBS. Avant INRAE réalisait des mesures ponctuelles qui ne suffisaient pas à établir de véritables relations de causes à effets. La ligne de production est aujourd'hui équipée de divers capteurs : pression atmosphérique, qualité de l'air, température, hygrométrie... En croisant ces données avec le contrôle qualité de sortie, et autres données intégrées au jumeau numérique, il sera possible d'obtenir des rapports bien plus précis et fiables.

Le jumeau numérique est ici composé de quatre modèles : temporel, prédictif de contamination, graphique, et le modèle basé sur les seuils critiques (normes ISO et risques de contaminations). Le jumeau va rassembler et analyser toutes les données, puis proposer des alertes pour prévenir des risques de contamination. « Pour l'instant, nous avons fait le choix d'une alerte à l'opérateur et non d'un retrait automatisé, reprend Mohammed ADEL HAMZAOUI. Les produits sont parfois surgelés et là il n'y aura pas besoin d'additif car il n'y aura pas de risque de prolifération ».

LA MAINTENANCE VERS L'INDUSTRIE 4.0

Avec ses capacités de prédiction et d'aide à la décision, la mise en œuvre d'un jumeau numérique peut devenir un formidable outil de maintenance du matériel et de coordination d'équipe. C'est en tout cas le sujet de doctorat entrepris par Naomi KAMOISE, qui a réalisé sa thèse via le dispositif Cifre (Convention industrielle de formation par la recherche) au sein de l'entreprise SPIE Industrie en collaboration avec le Lab-STICC.

Prestataire de nombreuses entreprises (Airbus, SNCF, Total Energie...) pour la maintenance de leurs équipements, SPIE Industrie a confié à la doctorante un cas d'étude portant sur les outils pouvant permettre d'optimiser la maintenance des trains. « A partir des connaissances, on crée des systèmes adaptés, utiles, utilisables et acceptables », explique Naomi KAMOISE. Ce dernier point, souvent négligé par ailleurs, elle y est d'autant plus attentive qu'elle vient d'un master en ergonomie cognitive. L'analyse des facteurs humains est donc partie prenante de cette étude sur la maintenance en industrie 4.0. « La thèse est née de l'observation d'une réticence face aux outils technologiques », souffle-t-elle. La constitution d'un jumeau numérique dans ce cadre va donc au-delà de l'apport de données techniques, pour apporter de nouvelles approches et y intégrer une approche coopérative humain-système dans son déploiement. « On est sur la suggestion de solutions plutôt que dans des directives. On remet l'humain au centre du process ».

« On remet l'humain au centre du process »

Naomi KAMOISE

Remettre l'humain au cœur des décisions est encore une approche peu utilisée, qui pourtant fait ses preuves. « Les entreprises ne se rendent pas compte qu'il faudra repenser la place de l'humain. Le jumeau numérique pourrait générer une peur que l'humain soit remplacé, mais ce n'est pas notre objectif. C'est une question d'éthique, on fait le choix d'apporter une aide, tout en laissant la décision finale à l'humain ». C'est aussi une façon de responsabiliser le technicien face à ses prises de décisions.

Les situations de maintenance étudiées mettent en avant deux types d'intervention à planifier. Celles, correctives, où les opérateurs arrivent après une panne, et celles, préventives, qui sont régulièrement programmées en entretien pour éviter ces pannes. Ce sont ces dernières qui nous intéressent ici le plus dans le cadre du déploiement d'un jumeau numérique afin d'en éprouver ses capacités prédictives. Techniquement, et pour ne pas brusquer les habitudes, on vient interfacer le jumeau directement avec le logiciel déjà utilisé par les opérateurs. « On est dans un environnement dynamique où tout ne se passe pas comme prévu. Une ligne indisponible, l'électricité non coupée, une personne habilitée malade ou avec une habilitation qui se termine, et l'intervention doit être repoussée », on comprend bien qu'au-delà des prédictions, les imprévus sont encore possibles. De plus, de nombreux acteurs différents interviennent avec des contraintes diverses. L'objectif sera donc d'anticiper au maximum l'ensemble des paramètres.

Suggérer des solutions, pas les imposer

« On va voir comment le jumeau numérique pourra aider les responsables de site afin d'éviter les aléas et cibler quelles informations sont les plus pertinentes, mais aussi comment suggérer des solutions comme avancer une intervention ou en prioriser d'autres. Le jumeau doit avoir de la souplesse et se positionner également au jour le jour. La plus grosse contrainte sera l'intervention corrective car elle passera obligatoirement devant la prédictive ». La capacité d'intégrer plusieurs interfaces avec des informations adaptées à la personne qui l'utilise est aussi envisagée. La jeune chercheuse essaye de se confronter au maximum à la réalité du terrain pour en cerner les besoins et contraintes, tout en cherchant les priorités et les impacts éventuels sur le client. La chercheuse se doit aussi d'adapter son langage en fonction de la personne rencontrée, surtout auprès de ceux qui ne comprennent pas l'approche par les facteurs humains, ou la complexité de sa démarche. C'est ainsi que la coopération humain-système entre au cœur de l'optimisation de l'activité de planification. « Pour en favoriser l'acceptation, on va mesurer la transparence informationnelle nécessaire. À quel point le jumeau doit-il être transparent ? Il a un impact sur la confiance accordée à la technologie », reprend-elle.

Une approche résolument globale

En s'inscrivant dans une approche globale, ce déploiement de jumeau numérique ne pouvait être pensé qu'à travers une démarche pluridisciplinaire. La thèse de Naomi KAMOISE est ainsi encadrée par Clément GUERIN, psycho-ergonome, et Nathalie JULIEN pour la partie technique du jumeau. « Tout l'enjeu est de savoir comment mettre en œuvre des outils simples et adaptés à leurs besoins, des interfaces qui ne demandent pas forcément beaucoup de technicité, et faciliter la démarche pour les aider à se projeter. Cela demande beaucoup de pédagogie », ajoute Nathalie JULIEN. « Comment satisfaire des besoins de planification, comment faciliter le couplage entre l'humain et la machine ? En ergonomie on cherche à comprendre le travail pour mieux le transformer, que ce soit par assistance ou par formation des individus. C'est avec tous ces éléments que Naomi construit une méthodologie prospective à la conception d'un jumeau », précise Clément GUÉRIN.

Entre développement numérique et expertise métier, quelle que soit l'entreprise et le domaine concerné, il faut savoir évaluer les différents compromis possibles pour dimensionner un outil des plus adaptés.

LE JUMEAU POUR L'AIDE AU MAINTIEN À DOMICILE

Sous les toits de l'école d'ingénieurs ENSIBS à Lorient, un appartement-laboratoire permet à la chaire de maintien à domicile (M@D), portée par la fondation Université Bretagne Sud, de réaliser des simulations en conditions réelles. Une dizaine de chercheurs affiliés au Lab-STICC (Laboratoire des sciences et techniques de l'information, de la communication et de la connaissance) contribue à cette chaire, ainsi que trois thèses.



Robots compagnons, détection des dangers, adaptation du mobilier, création de dispositifs d'aide à la situation de handicap, maison connectée, les sujets d'études sont nombreux. La chaire permet de financer des postes d'ingénieurs comme Mélanie COLCANAP ingénieure ergonomiste, Yann MUSELLEC sur la robotique et Abbas RAMADAN sur la domotisation et détection des activités de la vie quotidienne. Ce dernier réalise une thèse dans laquelle les activités quotidiennes pourront être mesurées afin de créer des dispositifs les plus adaptés possibles aux besoins de la personne. « Il ne s'agit pas de mettre des capteurs partout. L'objectif est d'être le moins intrusif possible, tout en pouvant cibler sur les besoins », explique Florent FRIZON DE LAMOTTE, enseignant-chercheur qui dirige le projet. « L'idée est de générer des données synthétiques qui aideront les techniciens à optimiser l'installation des systèmes et regrouper les informations utiles aux aidants », indique Abbas RAMADAN.



Contrôler l'usage des plaques de cuisson avec des détecteurs de présence, alerter d'une chute grâce à un sol connecté, ouvrir des portes à distance dès que le fauteuil se met en mouvement, tout peut s'imaginer, mais il s'agira également de définir le niveau d'aide acceptable. « 30 à 40 % des aides apportées sont abandonnées dès la première année. Souvent c'est parce que le système aide trop la personne car celle-ci est encore capable de faire des choses et veut garder cette autonomie. Si elle se sent trop surveillée, elle ne sera pas bien chez elle, elle pourrait même ne pas allumer la lumière et se mettre en danger », reprend Florent FRIZON DE LAMOTTE. Sol connecté, système radar, capteurs sonores, capture vidéo, suivi de l'activité domotique, les dispositifs existent mais ne sont pas tolérés de la même façon. L'enjeu est donc de définir un juste milieu pour personnaliser l'aide apportée tout en conservant l'intimité de la personne.

« Le jumeau va permettre de faire un bond dans la détermination des outils d'aide »

Florent FRIZON DE LAMOTTE

En croisant une multitude de données et avec la possibilité de simulations qu'il apporte, le jumeau numérique permet de faire un bond dans la détermination de ces outils. « L'intérêt du jumeau est de regrouper des informations qui n'étaient pas utilisées ensemble. Il est capable de reproduire l'état d'un système, d'intégrer un historique et des algorithmes d'intelligence artificielle pour obtenir des réponses précises ».

Ainsi, le programme ne va pas s'adapter mais être créé en fonction du domicile. Il vivra en même temps que l'habitat, pour l'analyser et évoluer. « Cela permettra aussi de présenter le dispositif en amont à la personne avant que cela soit installé chez elle. On essaye de trouver des solutions à différents troubles cognitifs avec l'Adapei (association enfant adulte en situation de handicap, Papillons blancs du Morbihan) qui nous accompagne sur l'analyse de l'activité à travers des ateliers de cuisine ». À noter que la chaire travaille également avec des Ehpad* avec pour objectif de maintenir la personne chez elle le plus longtemps possible.

**financement Mutuelle générale, Orange, CG56, CG22, HIT (Handicap Innovation Territoire).*



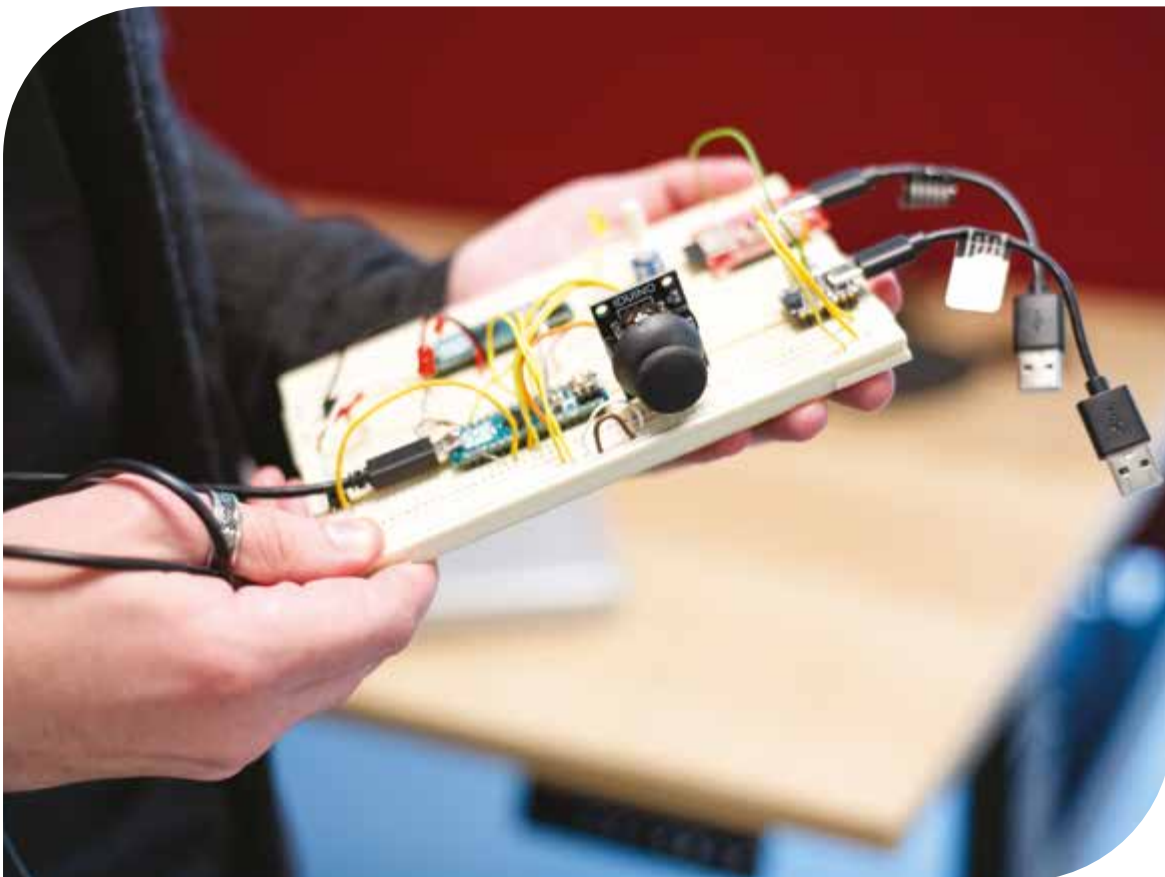
A KERPAPPE, DES AIDES TECHNIQUES PERSONNALISÉES

Le centre de Kerpape est également associé aux recherches menées sur le maintien à domicile, l'aide aux situations de handicap et l'élaboration de jumeaux numériques. Divers projets relient les laboratoires de l'Université et le CoWork'HIT, centre d'innovation. « Il y a beaucoup à faire sur la personnalisation et le reconditionnement des aides techniques. Il faut penser au prêt, à la location, mais aussi au coût énergétique et environnemental, sans oublier le virage vers le domicile », lance Willy ALLEGRE, ancien doctorant de l'UBS, aujourd'hui ingénieur au centre de rééducation de Kerpape à Ploemeur et chercheur associé au Lab-STICC.

Vers l'intelligence des objets du quotidien



Aurélien HOUÉ a entrepris une thèse où il propose d'embarquer un jumeau numérique dans les objets. Ici, un support de verre en impression 3D, équipé de led. Celui-ci pourrait alerter la personne qu'elle n'a pas bu, avec la possibilité d'émettre un bruit ou de transmettre un message sur un écran. « C'est un gobelet que l'on augmente avec des capteurs, en fonction des besoins identifiés par des ergothérapeutes », explique Aurélien HOUÉ. Il s'agit ici de mettre de l'intelligence dans les objets du quotidien. « Cela pourrait être un autre objet. La personnalisation permet une meilleure implication du patient. Pour cela il faut analyser l'activité de l'objet, ses usages... », ajoute Florent FRIZON DE LAMOTTE. C'est un mini jumeau numérique, auquel pourront s'agréger d'autres jumeaux numériques pour gagner en complexité et répondre à de nombreux besoins reconfigurables dans le temps.



EN AGROALIMENTAIRE COMME EN AGRICULTURE : ANTICIPER ET PRÉDIRE LES CYCLES DE VIE

Les possibilités dans le domaine agroalimentaire sont multiples. Emmanuel FRÉNOT, professeur en mathématiques appliqués, met ses modèles mathématiques au service de l'optimisation de la production ou des élevages.

Travailler avec des êtres vivants peut sembler aléatoire, et pourtant là aussi le jumeau numérique, parce qu'il est apprenant et fait appel à des mécanismes d'apprentissage inhérents à l'intelligence artificielle, apporte des réponses. Au travers du projet mis en œuvre avec la coopérative agricole Le Gouessant de Lamballe, c'est un jumeau numérique apprenant pensé pour suivre l'ensemble du cycle de vie des poules pondeuses qui fait l'objet des travaux de recherche d'Emmanuel FRÉNOT. Son objectif ? Optimiser la production sous l'angle des enjeux économiques, mais aussi de la résolution de problèmes ou encore du gain de confort animal.



Le modèle mathématique va ici intégrer diverses données et s'allier à des capacités d'apprentissage, afin d'obtenir un outil aidé d'intelligence artificielle et développé spécialement pour le client. Les techniques spécifiques à ce client sont étudiées pour le pilotage d'élevage de poules pondeuses, et prend donc en compte les contraintes inhérentes au milieu.

Pour les élevages considérés, les poules âgées de 18 semaines arrivent par lots. Elles seront suivies pas à pas jusqu'à leur sortie : la réforme. Celle-ci advient entre 55 et 80 semaines, un écart important qui nécessite davantage d'observation. « La réforme est prévue trop tôt ou trop tard. Or, à la 33^e semaine au cours de l'élevage, on est capable, grâce à l'outil développé, de savoir quand elles devront sortir », explique Emmanuel FRÉNOT. Le mathématicien nous apprend qu'en croisant un certain nombre de données, une courbe de production des œufs pourra se dessiner et se mettre à jour au fur et à mesure. Quelques données par semaine suffisent : nombre de poules décédées, quantité d'aliment distribuée, nombre d'œufs pondus, etc. On apprend alors comment les données de la phase de croissance influent sur la phase de décroissance.

« Le jumeau numérique apprenant d'un lot de poules pondeuses est un objet virtuel qui se comporte comme le lot de poules dont il est le jumeau, grâce à un flux de données plus ou moins manuelles et avec différentes échelles de temps. Le jumeau numérique apprenant se met à jour chaque semaine : on obtient une représentation de l'état de l'élevage et il permet de prédire son futur ». Au-delà d'optimiser la production économique, il peut également permettre de détecter de façon précoce les problèmes sanitaires pouvant survenir qu'ils soient dus à la qualité de l'alimentation, de l'environnement ou à cause de la propagation de maladie. Elevage par élevage ou en regroupant plusieurs sites, l'analyse peut se réaliser à plusieurs échelles. À l'avenir, la recherche pourra aller jusqu'à ajuster la recette de l'aliment consommé par les poules au fil du temps, et plus généralement proposer des alertes en cas de problèmes, aider à la décision et gagner en confort sur l'ensemble du cycle de vie animale.

Emmanuel FRÉNOT est à la croisée de la recherche et de l'agroindustrie et pousse sa volonté applicative jusqu'à avoir créé, en 2014, une entreprise basée à Vannes : See-d, société de conseils en IA et data science pour les entreprises. Il s'intéresse alors autant aux élevages de poules qu'aux parcelles agricoles avec des prédictions sur les plans d'ensemencement ou de récolte.

FACE À L'AFFLUX TOURISTIQUE : UN JUMENT NUMÉRIQUE DU TERRITOIRE

Formidable outil d'aide à la décision, le jumeau numérique peut s'appliquer aux collectivités locales pour optimiser la gestion du quotidien, ou d'événements spécifiques. Kimberley VIARON, doctorante à l'UBS, s'est saisie de ces problématiques, entre technologies et sciences sociales, pour explorer l'impact de l'afflux touristique autour des mégalithes morbihannais.



Photo Kimberley Viaron

Dégradations, pollution, gêne des riverains, les raisons de faire appel à un outil d'aide à la décision sont multiples pour apprendre à mieux gérer les flux de population. Sur le territoire du sud Morbihan où les mégalithes attirent de nombreux visiteurs chaque année et où les événements parsèment allégrement les calendriers - notamment en période estivale - les enjeux sont importants.

Sur ce projet nommé JUNITER, comme jumeau numérique du territoire, Kimberley VIARON doctorante, travaille en partenariat avec le comité régional du tourisme et l'association Paysages de Mégalithes qui vient d'obtenir le classement des mégalithes de Carnac et des rives du Morbihan au patrimoine mondial de l'UNESCO. Une nouvelle qui va probablement encore accentuer la densité de fréquentation. Dans son viseur : la préservation du patrimoine, mais aussi la diminution de l'érosion et la prise en compte des retombées économiques.

Deux laboratoires de l'Université Bretagne Sud sont investis dans le projet : le Lab-STICC avec pour encadrants Nathalie Julien et Philippe Rauffet, ainsi que LEGO (sciences économiques et gestion) avec Christine Petr. Avec d'un côté des experts du génie industriel, spécialistes en développement de jumeau numérique et de l'autre un éclairage pointu sur les questionnements liés au marketing et au tourisme, l'angle est nouveau pour cerner au mieux les préoccupations et enjeux du territoire.

Identifier des seuils de fréquentation

Pour modéliser un jumeau numérique, tous les regards se portent sur la nature des données à utiliser. Les trouver dans un premier temps, les récolter, puis il faudra étudier leur pertinence et enfin élaguer, pour garantir une meilleure réactivité du jumeau. « Le jumeau numérique permet de croiser une grande variété de données. De plus, l'objectif est de créer des jumeaux numériques accessibles à tous », explique Kimberley VIARON.

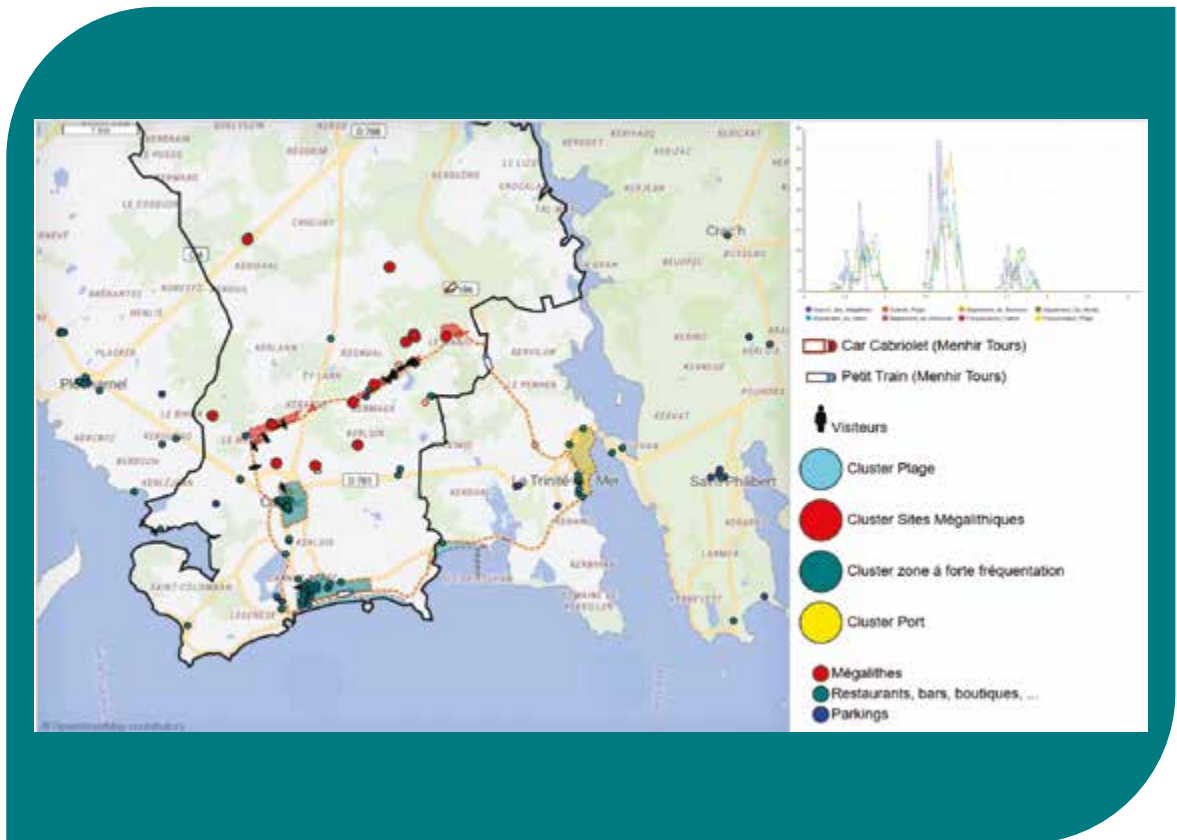
L'installation de capteurs permet de comptabiliser en temps réel la fréquentation d'un site. « On cherche à minimiser les coûts, mais à maximiser les données grâce à des algorithmes ». Ensuite, elle pense à toutes les données issues des billetteries de musées, de bateaux, des nombres de nuitées louées en hébergements touristiques ou encore du nombre de couverts dans la restauration locale, puis plus globalement des données météorologiques, du calendrier des événements... « Même avec les données du Festival interceltique de Lorient ou de la Semaine du Golfe, on peut faire des corrélations de fréquentation dans le Morbihan, en distinguer les pics, et les appliquer à Carnac. Par exemple, la semaine du Golfe 2023 a représenté une multiplication par 15 de la fréquentation du territoire. On peut imaginer regarder aussi du côté des locations de vélos, de trottinettes, des stationnements, pourquoi pas les téléphones mobiles, même si les bornages GPS sont difficiles à obtenir ».



Photo Kimberley Viaron

Elle va pouvoir anticiper certaines attitudes en reliant le calendrier des événements, mais aussi la localisation des glaciers, des parcs... « On sait que ces lieux vont attirer les familles avec de jeunes enfants. Les besoins sont différents en fonction du profil des visiteurs et de leurs habitudes. On verra moins de personnes âgées ou de familles avec des poussettes dans les bois par exemple », explique Kimberley VIARON. « On ajoute des calques avec les équipements présents, cela permet un niveau d'agrégation intéressant. Pour l'instant un calque a été créé avec les mégalithes pour chaque commune. Progressivement on va déterminer ce qui est intéressant ou non à ajouter ».

Répliquable sur tous types de territoire



Kimberley regroupe toutes ces données et va pouvoir les croiser avec d'autres afin d'en déduire l'influence de différentes variables. « Face à l'érosion de certains sites, cette connaissance précise de la fréquentation pourra nous permettre d'alerter du seuil atteint, de suggérer le déplacement d'une animation sur un autre site par exemple ou de limiter l'accès à un nombre de personnes », envisage la jeune chercheuse. « Le but est que ce soit, finalement, répliquable sur d'autres territoires ou domaines, comme le flux routier, l'usage de l'eau etc. » Selon les territoires, les difficultés peuvent résider dans les problématiques de sécheresse ou de pollution de l'air. Il faudra alors s'adapter aux spécificités locales mais la méthode restera la même.

« Il faut défricher, tout est à créer »

Kimberley VIARON

Même si la Bretagne vit beaucoup de son attrait touristique, les recherches sont encore peu conséquentes. « Très peu de jumeaux ont été réalisés pour modéliser le domaine du tourisme. Pendant les Jeux Olympiques c'est un jumeau plutôt orienté sur les déplacements de foule qui a été fait, mais il n'analysait pas les flux en temps réel. Il faut défricher, tout est à créer ». Si c'est une des difficultés rencontrées par la chercheuse, c'est aussi le sel de son sujet de thèse qui, débuté en octobre 2024, l'entraînera jusqu'en octobre 2027.

Christine PETR qui co-encadre ce travail de thèse travaille régulièrement sur les questions liées à l'afflux de population. « C'est un flux de tourisme, mais ce ne sont pas forcément des touristes. En Bretagne, on trouve beaucoup d'excursionnisme ». Les départs sont moins importants et tout le monde cohabite. « Les règles sont complexes quand on parle d'humains, il y a toujours une approximation et il faut intégrer cette subjectivité des ressentis dans les données à modéliser. On va alors définir des seuils d'erreurs acceptables », souligne-t-elle. La chercheuse met en avant le défi de définition des critères à prendre en compte, sans oublier celui de conclure avec un outil qui soit facilement utilisable et qui apporte une vraie valeur ajoutée. « Une information seule peut être inutile mais devenir riche une fois combinée à d'autres ».

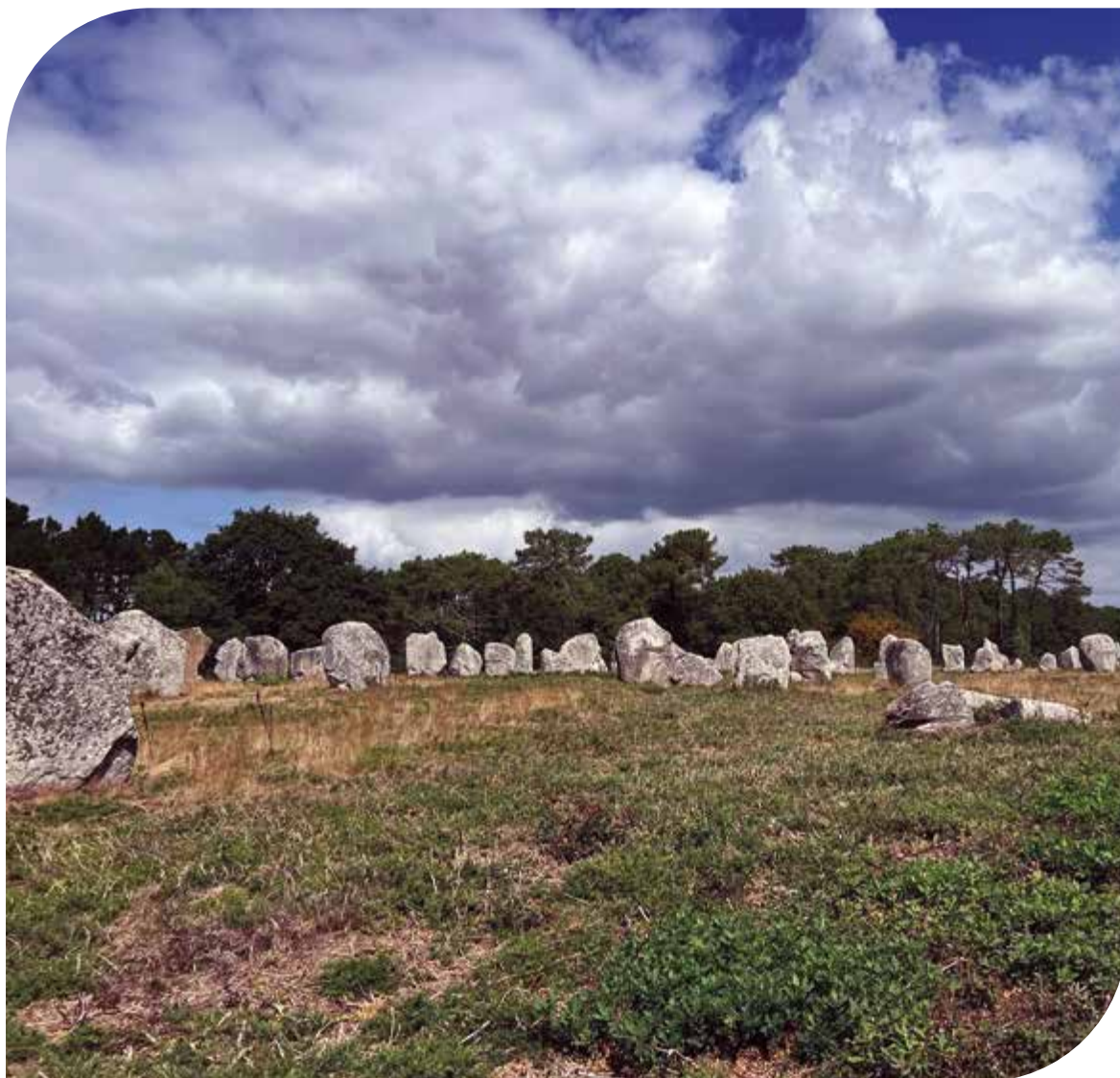
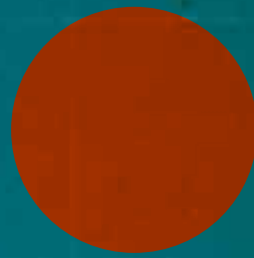
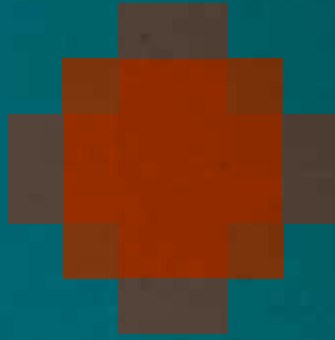


Photo Kimberley Viaron





PARTIE 2

COMMENT FAIRE ?

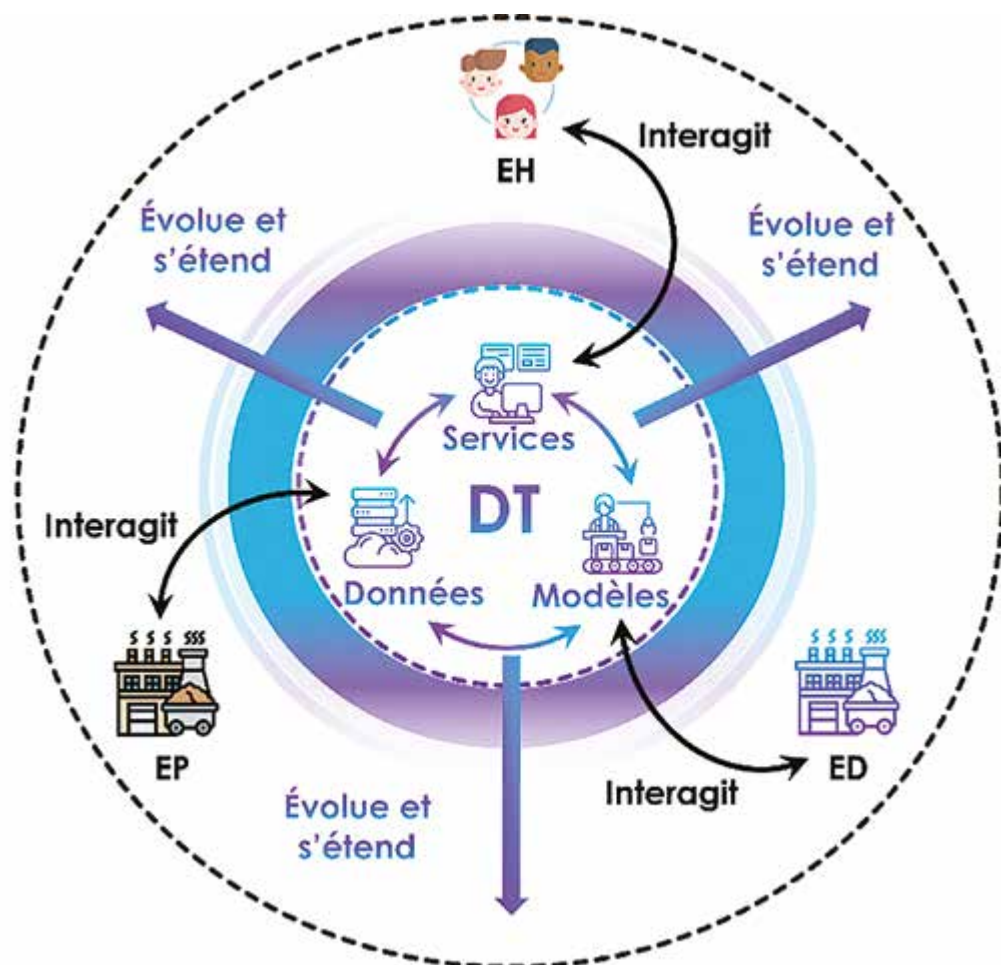
PENSER L'ARCHITECTURE

L'ARCHITECTURE DU JUMENTA NUMÉRIQUE : LES BONNES PRATIQUES

Concevoir un jumeau numérique c'est anticiper sa conception en prenant en compte un certain nombre de paramètres incluant son environnement et son usage. Nathalie JULIEN, professeure des universités, nous livre quelques clés.

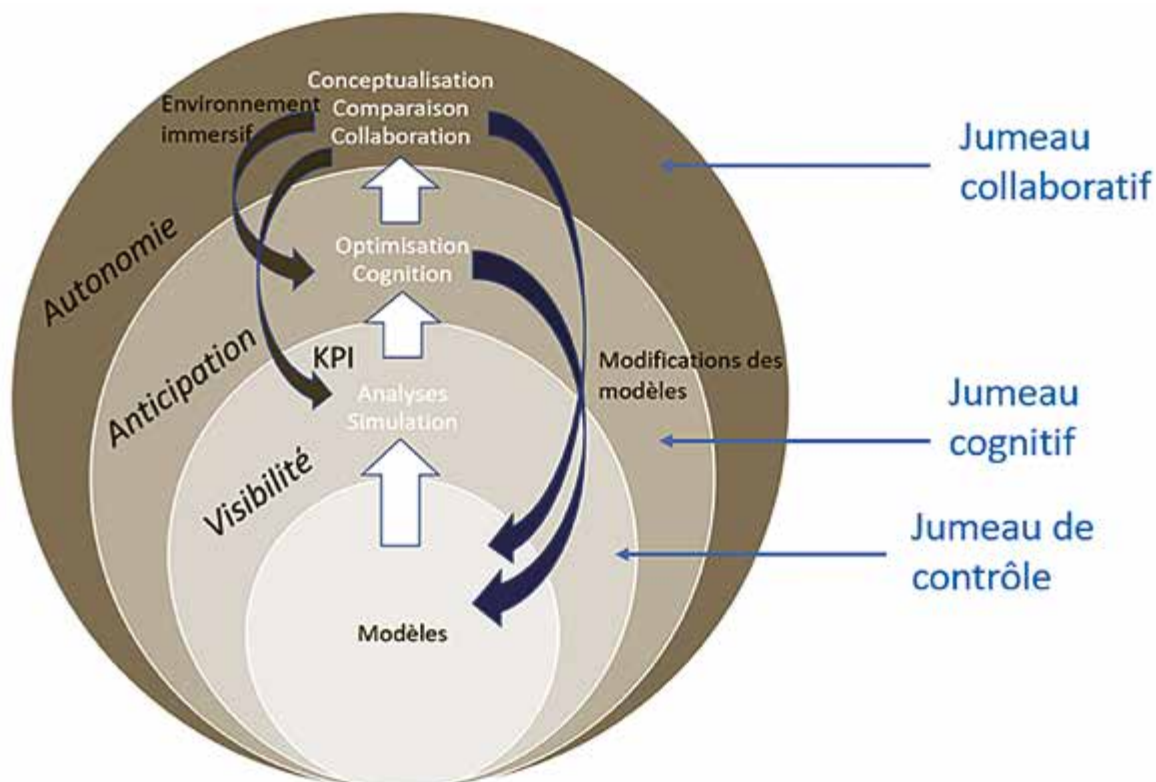
Penser le jumeau numérique dans son écosystème

Un jumeau numérique permet d'intégrer des données à des modèles afin de fournir différents services. Mais il est important de considérer qu'il se retrouve dans un écosystème complet avec lequel il doit interagir dans 3 dimensions : un environnement physique (EP) composé du produit, du process ou de son environnement auprès desquels on recueille les données, un environnement digital (ED) composé des logiciels métiers existants voire d'autres jumeaux numériques et d'un environnement humain (EH) composé de l'ensemble des utilisateurs et acteurs. Ce sont ces interactions avec son environnement global qui vont permettre d'enrichir les données, les modèles et les fonctionnalités du jumeau numérique pour lui permettre de développer de nouveaux usages.



Privilégier une démarche générique et progressive

Il est important de développer une architecture modulaire et hiérarchique pour aller plutôt vers des réseaux de jumeaux numériques, d'avoir une démarche progressive en testant sur des premiers démonstrateurs afin d'accompagner la montée en compétences et de favoriser une approche de co-conception permettant de définir une architecture centrée sur les usages. Souvent on commence par réaliser un premier jumeau de contrôle qui analyse la situation présente avant de développer des modèles prédictifs puis d'enrichir les fonctionnalités pour l'aide à la décision avec un jumeau collaboratif. De plus, une démarche générique favorise la réutilisation et donc le redéploiement de notre jumeau vers d'autres objets ou contextes ainsi que son évolution vers des fonctionnalités plus avancées.



Anticiper les impacts

Le jumeau numérique est un levier majeur pour l'innovation en permettant d'organiser les données et les informations au sein de l'entreprise. Il convient cependant de veiller à le dimensionner en fonction des besoins afin d'en limiter les coûts économiques et écologiques et d'intégrer dès la conception les contraintes de sobriété, de rentabilité, réglementaires voire éthiques pour sortir d'une vision purement techno-centrée.

COLLABORER AVEC L'HUMAIN

LE JUMEAU NUMÉRIQUE, AU CENTRE DE LA COOPÉRATION ENTRE L'HUMAIN, MODÈLES ET DONNÉES

Au-delà des besoins d'optimisation et de hausse de la productivité, le développement d'un jumeau numérique peut surtout se montrer comme une formidable opportunité. Celle de remettre l'humain au cœur des préoccupations en adaptant davantage les outils avec lesquels il peut coopérer.

En améliorant la qualité des interfaces et en renforçant la compréhension des opérateurs, le jumeau numérique est un « objet » intéressant pour étudier les mécanismes impliqués dans la relation entre l'humain et la technologie. Au sein de l'équipe FHOOX (facteurs humains et organisationnels dans les systèmes complexes), Philippe RAUFFET et Clément GUERIN mettent leurs compétences au service de la coopération humain-machine, en intégrant facteurs humains et contraintes techniques. « Opérateur, planificateur, gestionnaire de budget ou de la logistique, chacun a une vision différente du travail. Le jumeau numérique est un média entre les différents acteurs humains, et entre leurs besoins », souligne le premier.

Trois leviers d'optimisation

Prendre en compte ces différences, c'est considérer l'ensemble des réalités coexistantes dans un même environnement. Et travailler avec des machines ne soulève pas les mêmes difficultés pour tous. Pour optimiser cette coopération, l'équipe a identifié trois leviers.

En premier lieu, il s'agira de **détecter et classifier les états cognitifs des opérateurs humains**. On va ainsi aller mesurer l'effort demandé à l'opérateur face à l'assistance proposée par la machine. Celle-ci génère-t-elle une surcharge, de la fatigue, du stress ou au contraire une amélioration de la compréhension ? L'impact peut être mesuré par des données physiologiques et comportementales, comme le diamètre pupillaire, la fréquence cardiaque, la sudation, la sécrétion d'hormones, mais aussi des réponses à des questions subjectives reflétant des perceptions individuelles.

Ensuite, l'équipe s'intéresse à l'**identification des interférences** potentielles survenant entre l'humain et le système. L'objectif est de chercher à comprendre et modéliser celles-ci. « Quelle confiance l'opérateur accorde-t-il à la technologie ? Fait-il assez ou trop confiance à la machine face à ses suggestions, reste-t-il bien conscient de la situation ? », précise Philippe RAUFFET. Face à des éléments contradictoires, la personne peut se retrouver en état de dissonance cognitive. La question se posera alors de l'usage des systèmes intelligents et du jumeau numérique. Est-ce que c'est un usage à court ou long terme, juste le temps de se former ou un dispositif destiné à rester dans le temps, mais qui peut entraîner de nouvelles contraintes cognitives dans l'activité des opérateurs qu'il faudra considérer avec précaution. « Il y a des questions de calibration de la confiance et de couplage entre l'humain et la technologie, et cela dépend aussi du contexte et de l'état de la personne à l'instant T », ajoute Clément GUERIN.

« Le jumeau numérique doit être un outil de débat, de réflexion autour des usages que l'on peut faire de la masse des données collectées et de l'émergence de nouveaux modèles permettant d'appréhender plus de complexité »

Philippe RAUFFET

« La question qui se pose enfin, c'est comment à partir de la mesure de ces états ou de l'analyse de ces interférences, on va venir **concevoir ou adapter le système en tenant compte de caractéristiques des situations qui sont dynamiques** », reprend Philippe RAUFFET. Des mécanismes d'adaptation vont permettre d'améliorer la coopération en se reposant sur les précédents résultats. Il s'agira de réfléchir à une meilleure répartition du travail entre l'humain et la machine, d'améliorer le dialogue grâce à des interfaces dites écologiques, ou encore d'optimiser les réglages et affichages des connaissances pour obtenir divers niveaux de transparence. « L'interface contribue à ce que l'humain se construise une représentation mentale de la situation en cours. Mais le niveau de précision de ces interfaces peut évoluer de façon dynamique en fonction de l'opérateur ou d'événements qui se produisent », ajoute son collègue.

Face à la tentation de cumuler le plus grand nombre de données possible, pour la création d'un jumeau numérique, nos deux chercheurs conseillent de commencer par identifier les besoins avant de multiplier les capteurs. Il en est de même pour la prise en compte de l'humain dans ce nouveau contexte industriel. Il faut garder l'expertise des opérateurs et leur pouvoir d'agir dans ces nouveaux systèmes cyberphysiques de production, afin d'assurer un maintien, voire l'amélioration de la confiance entre l'humain et le jumeau numérique.

Pour prendre en compte tous ces éléments, l'équipe de recherche FHOOX développe une approche pluridisciplinaire : facteurs humains, ergonomie cognitive, génie industriel, génie logiciel... Elle explore ces questions via la plateforme SCAP de l'UBS, mais aussi grâce à divers partenaires industriels comme SPIE Industrie. « L'analyse de l'activité est au cœur de notre démarche. Le jumeau numérique est une belle opportunité pour éprouver des méthodes et répondre à des verrous scientifiques », souligne Clément GUÉRIN.

Tendre vers des éléments communs

En essayant de comprendre et modéliser les états humains, les outils vont pouvoir s'adapter aux besoins de l'opérateur et non l'inverse. On va pouvoir améliorer la communication entre le jumeau, le système et l'humain, adapter des interfaces qui peuvent être multimodales, mais aussi leur permettre d'évoluer dans le temps. Travailler avec l'humain, c'est accepter que tout est évolutif et peut dépendre du contexte. « Il est difficile de modéliser toute la complexité que cela soulève. On observe les invariants pour tendre vers des éléments communs ».

Le jumeau numérique devient un élément structurant. Il a aussi l'intérêt d'être fédérateur entre différentes disciplines pour avancer pour et avec un projet commun. « En intégrant l'humain on s'assure que l'outil soit adapté, et donc pas abandonné ».

PARTAGER LES DONNÉES

UN JEU D'ÉQUILIBRISTE ET DES RÉGLEMENTATIONS NAISSANTES

Multiplier l'usage des données n'est pas sans conséquences. Appartenance des données, protection des données personnelles, collaborations entre plusieurs entreprises, la création d'un jumeau numérique doit soulever de nombreuses questions, notamment juridiques.

D'abord, « le jumeau numérique peut contenir des données plus ou moins sensibles. Il faut une expertise à plusieurs échelles », lance Annabel QUIN, maître de conférences en droit des affaires et droit du numérique. Il peut s'agir de données stratégiques pour l'entreprise ou de données protégées par des droits de propriété intellectuelle, mais aussi de données à caractère personnel. En effet, dès que l'on peut identifier une personne, directement ou indirectement, le RGPD (règlement général de protection des données à caractère personnel) s'applique. Et, « si, avec le big data, on est tenté de tout récolter, le RGPD impose un ensemble d'obligations qui vont encadrer cette liberté : par exemple, il faut informer les personnes concernées, sur leurs droits et sur les finalités de cet usage. Celles-ci se voient également reconnaître un droit à la portabilité, c'est-à-dire le droit de récupérer leurs données pour les transmettre à un autre opérateur ». La finalité du jumeau numérique doit répondre à ces points préalablement identifiés dans le RGPD et les articuler avec les autres réglementations applicables. La spécialiste ne le cache pas, c'est un casse-tête. Mais mieux vaut s'y pencher dès la création d'un projet et se saisir de ces questions à chaque étape plutôt qu'ensuite, c'est le *Privacy by Design*.

Limiter les risques

On va raisonner en termes de protection des risques. « Par exemple, on va limiter les risques d'atteinte aux personnes en chiffrant leurs données ou en les pseudonymisant, de sorte qu'en cas de cyberattaque, le vol de leurs données ne leur porte pas préjudice. De façon générale, le droit ne dit pas ce qu'il faut faire, mais impose d'identifier les risques et d'essayer de les limiter. Autant dire que, plutôt que d'accumuler des données, mieux vaut savoir les exploiter et réfléchir à celles qui sont essentielles, en les protégeant ». Dans ce cadre, une attention particulière doit être portée aux données sensibles, qui correspondent soit à des données stratégiques pour l'entreprise, soit aux données très personnelles d'un individu, comme les données de santé. Cependant, personne n'est dupe, cela a un coût et les mesures vont dépendre des capacités humaines et financières de l'entreprise.

« De nombreuses questions se posent dans le cas de l'utilisation d'une IA, avec là encore une méthode de gestion des risques. Les risques interdits et les risques acceptés sont classifiés dans le règlement européen sur l'intelligence artificielle (*AI Act*) mais, entre les deux, c'est cette logique de gestion des risques qui s'applique. Le droit impose de réfléchir à ce qu'on fait, pourquoi et comment », reprend Annabel QUIN.

Harmoniser grâce à un accord de collaboration

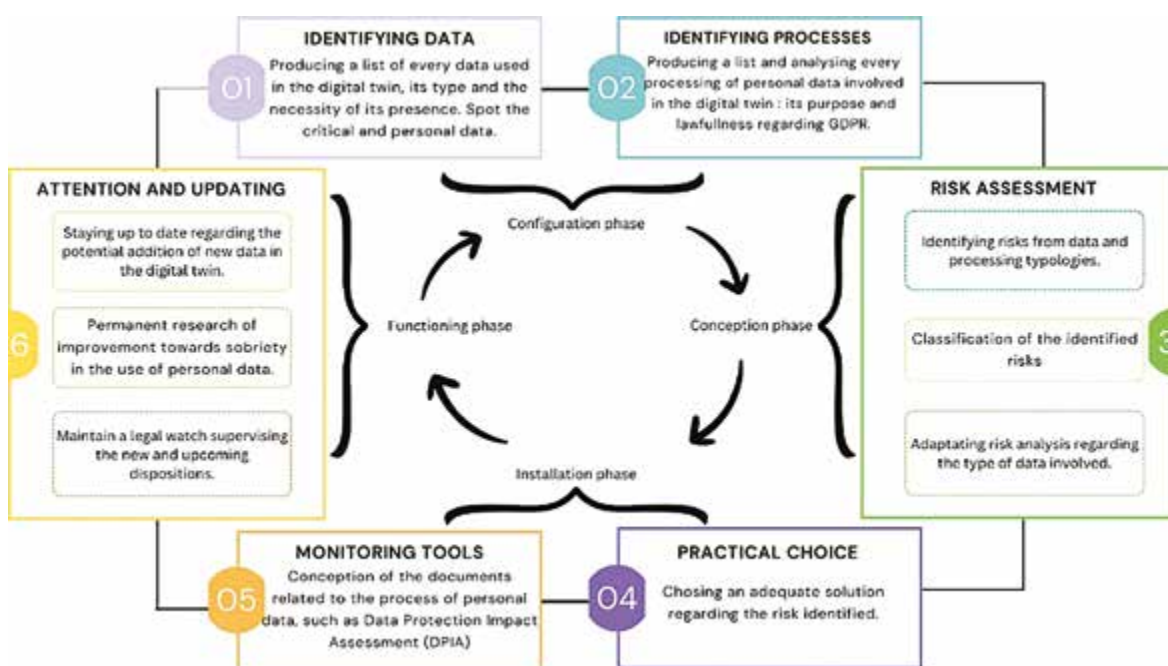
Lorsque l'on réunit plusieurs partenaires dans un projet, comme cela peut être le cas dans le contexte d'une conception de jumeau numérique, il est nécessaire de conclure un accord de collaboration. « Il faut identifier les données mises en commun, avec éventuellement des obligations de confidentialité, et aussi harmoniser les mesures de cybersécurité. C'est le contrat qui va imposer les règles », souligne-t-elle. Il faut également tenir compte des nouveaux textes en matière de gouvernance des données, d'IA et de cybersécurité.

Car si, au départ, les réglementations étaient limitées, celles-ci se multiplient désormais mais peinent encore à répondre à toutes les questions que soulèvent la conception et l'utilisation d'un jumeau numérique. En outre, certains domaines sont plus réglementés que d'autres comme la santé, où les risques sont plus importants. Mais le droit du numérique est encore en construction...

Associer innovation et préservation des valeurs européennes

« Le Jumeau Numérique c'est très spécialisé, il faut savoir comment il fonctionne pour identifier les points critiques et mobiliser les règles adaptées, en puisant dans plusieurs types de réglementations. C'est une approche pratique. Et si on veut que le droit soit respecté, il faut que les ingénieurs en tiennent compte dès la construction de l'outil, c'est la *Privacy by Design*, préconisée par le RGPD ».

« L'objectif n'est pas de brider l'innovation, mais de défendre les valeurs européennes, notamment en ce qui concerne la protection des personnes. Certes, cela peut poser des problèmes de concurrence internationale, d'où l'intérêt de poser des règles au niveau européen pour avoir plus de poids. On réglemente quand il y a un problème, mais quand on réglemente on bride l'innovation. De plus, le RGPD a montré que l'Europe pouvait être un élément moteur pour des réglementations internationales », conclut-elle.



DÉPLOYER UN JUMEAU, DES FREINS PERSISTENT

Les principaux freins rencontrés en entreprise face au déploiement d'un jumeau numérique restent le partage de données et le coût de développement. Si la modélisation des systèmes permet de simuler des pannes, des scénarios critiques, et d'évaluer les impacts de sollicitations ou d'événements perturbateurs, les jumeaux permettent une aide à la décision proche du temps réel. À condition bien sûr d'avoir un accès aux données opérationnelles des systèmes étudiés.

Afin d'apporter son expérience et d'améliorer ses méthodes, l'entreprise Edge Mind a rejoint le projet collaboratif GEMINI 3D en partenariat avec l'Université Bretagne Sud. « Cela nous a permis de maintenir un poste d'ingénieur R&D à Vannes et nous donne du temps pour travailler des sujets innovants », se réjouit Roland Donat. L'entreprise est spécialisée dans le développement de jumeau numérique pour les systèmes critiques complexes, elle a notamment travaillé pour EDF, la RATP, ou encore GRTgaz sur des problématiques variées telles que la sûreté de fonctionnement des centrales électriques, l'optimisation de la production d'H2 bas carbone ou encore la maîtrise des risques relative à l'automatisation de lignes de métros. Pour ce projet-ci, l'impression 3D ne relève pas de systèmes critiques mais bénéficie d'un contexte où l'accès aux données permet d'élaborer de nouvelles approches afin de fiabiliser ce domaine industriel émergent, et de gagner en compétence en améliorant ses méthodes. « On travaille souvent avec des données sensibles qui ne peuvent pas être utilisées d'un projet à un autre. Avec GEMINI 3D, nous pouvons mettre en œuvre la continuité numérique entre les données du robot d'impression 3D et le jumeau numérique contenant nos algorithmes d'analyse permettant d'aider les opérateurs à corriger le processus d'impression en temps réel si un défaut est détecté », explique Roland DONAT.

De la gestion des risques à la performance

Autre frein, le coût. « Le jumeau numérique reste aujourd'hui une approche qui coûte relativement cher. Il y a un intérêt général mais bien souvent seules les grandes entreprises ont les moyens d'en développer, notamment pour des applications liées à la gestion des risques », reprend Roland Donat. Un des objectifs du projet GEMINI 3D est de rendre l'élaboration de jumeaux plus abordable et adaptée aux besoins des entreprises en général, où le gain de performance est au cœur des préoccupations. « Notre but est de construire une méthode de déploiement abordable et ciblée sur l'optimisation de la performance. Pour l'impression 3D, cela passe par un jumeau capable d'aider à assurer un haut niveau de qualité des pièces produites et d'optimiser la fiabilité du matériel dans la durée. Nous espérons ainsi montrer aux entreprises que le retour sur investissement des jumeaux numériques est positif ».

Qu'en est-il du coût écologique ?

Face à la course vers la technologie, un autre discours s'élève, celui de la sobriété. Pour mieux comprendre les enjeux, Kenza ELBAROUDI s'est penchée sur une méthode d'évaluation des coûts énergétiques et écologiques des jumeaux numériques*. « Les avantages du jumeau numérique ont été explorés pour aider à la prise de décision via la simulation de scénarios, la littérature scientifique l'aborde un peu sur son coût énergétique, mais il n'existait pas de réflexion sur son impact environnemental », résume-t-elle. Pour évaluer cet impact, il faut savoir de quoi on parle. Kenza ELBAROUDI a ainsi établi une classification de trois types de jumeau, mis en perspective selon des critères comme l'équipement, l'expérience utilisateur ou encore la maturité de fonctionnement. « Plus on augmente le nombre d'utilisateurs, plus l'impact environnemental augmente. Un haut niveau d'impact pourrait, par exemple, être un jumeau utilisé pour de la maintenance à distance avec un espace collaboratif doté de casques de réalité virtuelle où chacun voit l'autre utilisateur via un avatar qui montre ce qu'il faut faire », explique-t-elle. Pour estimer les émissions de carbone elle s'est notamment aidé de l'interface Ecodiag de l'Ademe, ou encore de Datavizta qui présente encore davantage d'indicateurs. Les émissions de CO2, le coût de l'équipement, l'épuisement des ressources naturelles sont mis dans la balance. À terme, un outil d'évaluation a été créé et pourra être testé et amélioré au fur et à mesure.

L'objectif est une prise de conscience afin d'adapter les outils technologiques aux réels besoins des entreprises. « Les industriels recherchent souvent des technologies polyvalentes, mais toutes les fonctionnalités ne sont pas toujours utiles. La grille conçue permet d'identifier les écarts : pour des usages simples, un miroir numérique peut suffire sans recourir à la réalité augmentée ». La mise en place d'un jumeau, c'est le coût du logiciel, mais aussi le coût humain de mise en place, de formation et de maintenance. « On peut estimer le coût de mise en place, mais peu le coût de fonctionnement. Il existe la possibilité d'intégrer des plugins au logiciel pour aider à calculer la consommation en temps réel ».

D'une façon générale, la prise de conscience intègre progressivement les préoccupations liées aux mesures de la pollution numérique. En 2025, la part due aux centres de données (Datacenter) a été réévaluée à 46%, contre 16% estimé en 2022, les centres situés à l'étranger ayant été fortement sous-estimée. « Les besoins d'eau pour refroidir les data center sont immenses également et les eaux polluées rejetées dans l'environnement ». Ses conseils ? Définir le besoin et l'usage principal du jumeau numérique, puis ajouter progressivement d'autres fonctionnalités selon les besoins, plutôt que de tout développer d'emblée. Et surtout, penser à l'éco-conception, des capteurs moins énergivores et réutiliser le matériel au maximum.

* Ce travail a été réalisé grâce à un master en apprentissage au CEA que mène l'étudiante en parallèle de ses études à l'école d'ingénieurs ENSIBS. Ce projet ECOSTWIN a été piloté par Nathalie Julien et a reçu le soutien financier du CNRS dans le cadre des programmes interdisciplinaires MITI.

LES COLLABORATIONS, UNE PASSERELLE ENTRE DEUX MONDES

Diverses formes de collaborations avec l'Université Bretagne Sud sont possibles. Au démarrage de ces partenariats on retrouve souvent l'étudiant. Encadré par un enseignant-chercheur, il peut apporter son savoir à des applications spécifiques en entreprise, ou faire le pont entre une organisation et un laboratoire de recherche.

« Les collaborations se font à différentes échelles, des plus petites via des stages ou projets tutorés, jusqu'à des collaborations de recherche au niveau européen avec des projets chiffrant de quelques dizaines à plusieurs centaines de milliers d'euros », indique François-Xavier LANNUZEL, ingénieur valorisation de la recherche à l'Université Bretagne Sud.

Au niveau de la formation des étudiants, le lien avec les acteurs socio-économiques peut se faire via des stages. « Cela permet de faire connaître le monde de l'entreprise à un étudiant, mais aussi pour l'entreprise de mettre un pied à l'université et de découvrir également d'autres formations ». Ces relations peuvent mener vers les projets tutorés où un groupe d'étudiants va se saisir de questions propres à l'entreprise. « Un groupe de 5 étudiants formera une équipe de projet sur une problématique simple le temps d'un semestre. Cela peut concerner les sciences, le droit, le marketing ou tout autre domaine de compétence de l'UBS ». Dans les deux cas, cela peut être une première approche de partenariat pour une entreprise, une collectivité, une association, sans occasionner de coût.

« C'est du gagnant-gagnant »

Quand la confiance s'est installée, des projets de plus grande envergure peuvent naître avec les collaborations de recherche. Il peut s'agir d'une prestation de recherche, d'une opération de conseil envers l'entreprise, mais le plus souvent il s'agira d'un contrat de collaboration dans le cadre de la réalisation d'une thèse. « Avec le dispositif CIFRE (voir encadré), c'est du gagnant-gagnant. L'étudiant se forme au monde public-privé, la rémunération est plus importante et l'entreprise découvre un laboratoire de recherche ».

Pour les plus gros projets, l'université peut répondre à des appels à projets de niveau régional, national, européen, ou au-delà. Les plus importants peuvent réunir une trentaine de partenaires sur les mêmes problématiques pendant 4 ans en moyenne. Les partenaires sont des laboratoires universitaires, des entreprises, ou tout autre acteur socio-économique.

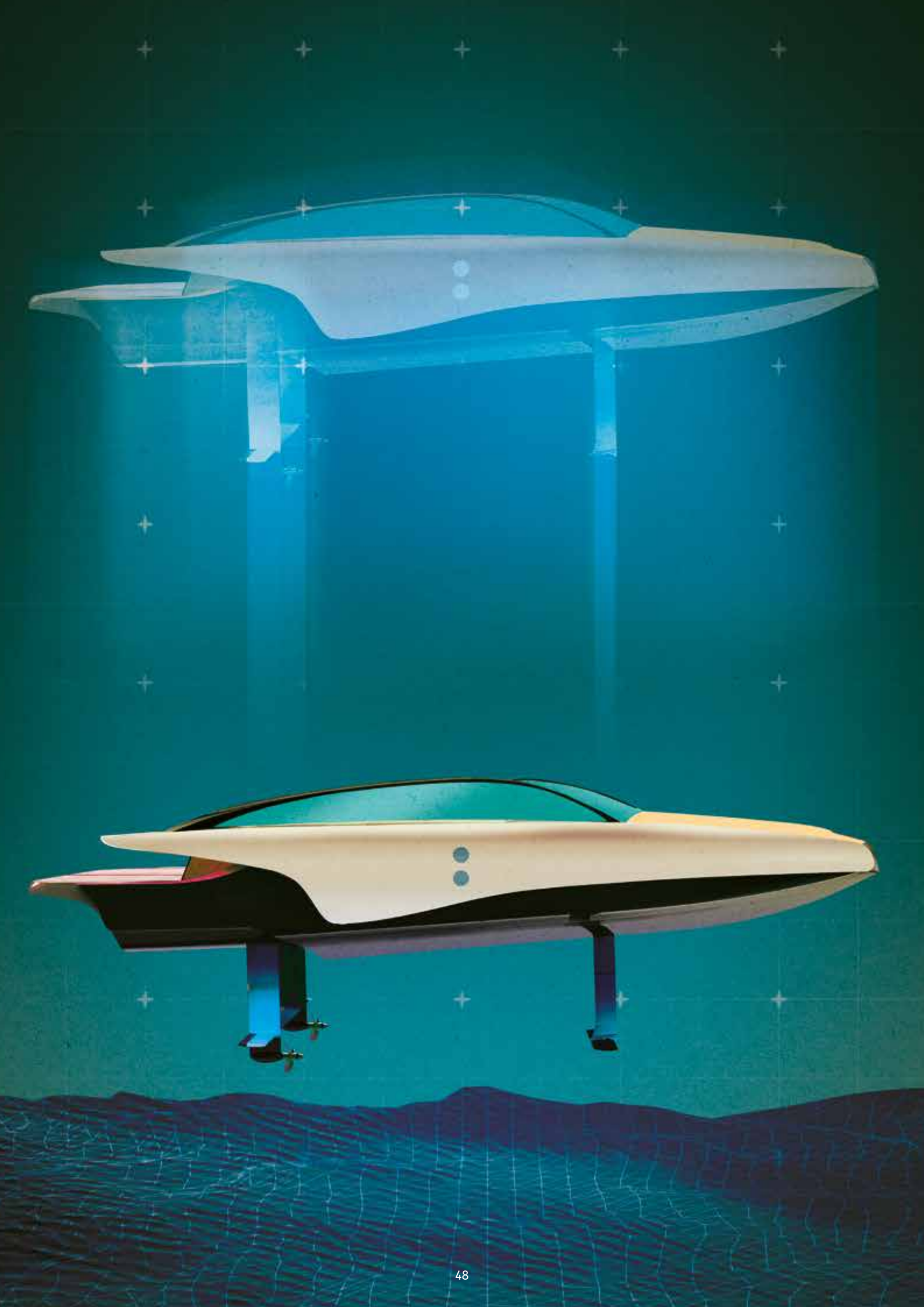
Les collaborations peuvent aussi se faire dans le cadre d'une fondation universitaire. Elle met en place des chaires de recherche sur des thématiques de société. Ces chaires sont financées par du mécénat d'entreprise et font appel aux compétences de l'université en recherche et en formation. « De plus en plus d'universités ont des fondations, comme ici à l'UBS, avec des chaires qui doivent s'emparer des sujets de société et faire travailler ensemble des acteurs du territoire qui ont peu d'occasions de se rencontrer et de réfléchir à des solutions communes ».

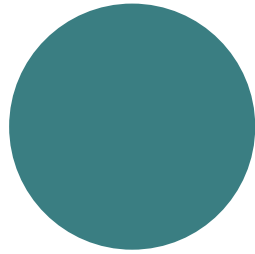
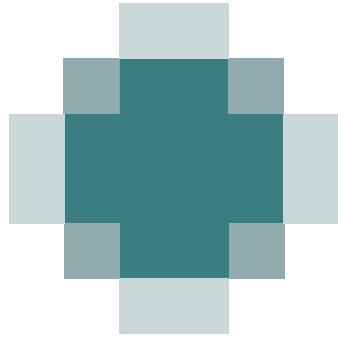
Pour se tenir à jour des collaborations possibles, et rencontrer les partenaires et acteurs du territoire, il est conseillé de participer aux événements organisés par les chambres de commerces, les technopôles ou les pôles de compétitivité, via des networking ou des forums, qui permettent de créer de nouveaux liens.

Contact : druid.partenariats-innovation@listes.univ-ubs.fr

LE DISPOSITIF CIFRE, C'EST QUOI ?

La Convention Industrielle de Formation par la Recherche est accordée par l'agence nationale de la recherche et de la technologie (ANRT). Son objectif est d'encourager la recherche partenariale publique-privée et de favoriser l'emploi des doctorants. L'entreprise recrute un doctorant au travers d'un contrat avec l'université et lui confie une mission de recherche stratégique pour 100% de son temps qui sera l'objet de sa thèse. Pour les mener à bien, il est encadré par un laboratoire académique. L'entreprise doit octroyer un salaire brut annuel de 25 200 € minimum, mais perçoit une subvention de 14 000 € de l'ANRT pendant 3 ans et bénéficie du crédit d'impôt recherche (CIR).





ANNUAIRE CHERCHEURS



Jean-Marc CADOU

Professeur des Universités
Jean-marc.cadou@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Modélisation et simulation numérique de structures composites.

MOTS CLÉS

Simulation numérique
Structures composites
Dimensionnement mécanique de structures

Jean-Marc CADOU est enseignant/chercheur à l'UBS depuis 2003. De formation modélisation et simulation des structures, il enseigne à l'Unité de Formation et de Recherche Sciences et Sciences de l'Ingénieur à Lorient et est membre du laboratoire Institut de Recherche Dupuy de Lôme (IRDLD) associé au CNRS. Depuis le début de sa carrière il s'intéresse notamment aux dimensionnements des structures en intégrant la notion de calculs en temps réel. Il a participé à plusieurs projets collaboratifs sur ce sujet (en partenariat avec des industriels bretons). Il a ainsi développé en collaboration avec d'autres chercheurs de l'IRDLD des logiciels de dimensionnement de structures notamment pour l'industrie des structures composites.



Emmanuel FRENOD

Professeur en Mathématiques Appliquées

emmanuel.frenod@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Intelligence Artificielle / Contrôle des Systèmes.

MOTS CLÉS

Mathématique Appliquées
Modélisation Mathématique
Apprentissages Statistique
Assimilation de Données
Analyse Asymptotique Mutli-Échelles

Emmanuel FRÉNOD est Professeur en mathématiques appliquées à l'Université Bretagne Sud. Il travaille sur l'utilisation de l'intelligence artificielle pour contrôler des systèmes industriels et des activités d'entreprises. Il travaille également sur l'utilisation des « Surrogate Models » cadre de la turbulence, plasma pour la fusion magnétique. Il mène également une activité de recherche sur les objets mathématiques sous-jacents aux modèles de « Machine Learning ».



Florent FRIZON DE LAMOTTE

Maître de Conférences, Lab-STICC (UMR CNRS 6285)

florent.lamotte@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Conception et déploiement de jumeaux numériques au sein de systèmes embarqués pour l'aide aux personnes dépendantes.

MOTS CLÉS

Systemes embarqué
Mécatronique
Jumeau numérique embarqué
Habitat intelligent
Aides techniques modulaires

Florent FRIZON DE LAMOTTE effectue ses recherches au sein de l'équipe Shaker du Lab-STICC. Ses intérêts portent sur la conception de systèmes autonome distribués s'adaptant grâce à des techniques de reconfiguration aux changements dans leur environnement et a développé plusieurs démonstrateurs dans le cadre des systèmes industriels et des systèmes d'aide aux personnes handicapées. Il s'intéresse, dans ce contexte, à l'utilisation de jumeaux numériques embarqués et éventuellement distribués pour reconstituer, suivre et pronostiquer l'état des systèmes modélisés dans une approche unifiée.



Fanny GUENNOC

Enseignante-Chercheuse à l'ENSIBS et au Lab-STICC (UMR CNRS 6285)

fanny.guennoc@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Conduite de projet favorisant la collaboration lors de la conception de dispositifs innovants.

MOTS CLÉS

Ergonomie
Conduite de projet
Co-conception

Fanny GUENNOC est enseignante-chercheuse en Ergonomie. Ses travaux portent sur la prise en compte des activités et des expertises des différents acteurs lors des projets de conception de dispositifs innovants, tels que les jumeaux numériques.



Clément GUERIN

Maître de conférences

clement.guerin@univ-ubs.fr

Page professionnelle : <https://labsticc.fr/fr/annuaire/guerin-clement>

DOMAINE D'EXPERTISE

Conception et Évaluation de systèmes humains-technologies
pour l'industrie du futur.

MOTS CLÉS

Coopération humain-technologie
Ergonomie prospective
Industrie du futur

Clément GUÉRIN travaille à l'UBS depuis 2013. Psycho-ergonome de formation, enseignant à l'école d'ingénieurs ENSIBS en filière Génie Industriel 4.0 à Lorient et membre du laboratoire de recherche Lab-STICC (UMR CNRS), ses travaux de recherche portent sur la coopération humain-technologie (H-T), afin de contribuer à la conception et à l'évaluation de systèmes technologiques plus adaptés aux caractéristiques du fonctionnement cognitif humain. Son intérêt porte particulièrement sur l'amélioration et l'opérationnalisation du dialogue H-T, en investiguant les effets de réglages de transparence informationnelle sur l'efficacité du système H-T. Ce cadre permet de s'interroger sur des questions de confiance humaine accordée à la technologie (par ex. à un conseiller virtuel à base d'intelligence artificielle) et des modalités opératives permettant aux technologies de savoir-coopérer. Ses travaux sont développés dans plusieurs domaines d'application, dont l'Industrie du futur, et s'inscrivent dans une perspective pluridisciplinaire. S'appuyant sur le courant méthodologique de l'ergonomie prospective, il s'intéresse au jumeau numérique depuis 2021, comme un agent technologique pouvant coopérer avec un agent humain, pour des activités de maintenance prédictive ou d'impression 3D robotisée.



Mohammed Adel HAMZAOU

Maitre de conférences, Lab-STICC (UMR CNRS 6285)

mohammed.hamzaoui@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Modélisation des systèmes industriels et cycle de vie de la donnée dans les jumeaux numériques.

MOTS CLÉS

Jumeaux numériques
Interopérabilité
Modélisation des systèmes industriels

Adel HAMZAOU est enseignant-chercheur à l'Université Bretagne Sud, au sein du département QLIO de l'IUT de Lorient et membre du laboratoire de recherche Lab-STICC. Docteur en génie industriel, il travaille depuis 2021 sur le développement et la structuration méthodologique des jumeaux numériques appliqués aux systèmes industriels dans le cadre de projets collaboratifs. Ses travaux portent plus particulièrement sur la modélisation, l'interopérabilité et la continuité numérique au service de la transition digitale des entreprises, notamment celles à faible maturité numérique. Il participe activement à la diffusion et à la vulgarisation scientifique à travers des événements tels que des cafés des sciences ou des colloques organisés par des pôles de compétitivités locaux, afin de contribuer à renforcer les liens entre recherche, formation et innovation industrielle.



Imane IRCHACHEN

Ingénieure mécatronique - Plateau Technique CompositIC

Imane.irchachen@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Conception et déploiement de jumeaux numériques appliqués à la fabrication de pièces à exigences élevées, afin que le système puisse intégrer les paramètres critiques du process et assure son pilotage en temps réel grâce aux modèles d'intelligence artificielle.

MOTS CLÉS

Jumeau Numérique
Mécatronique
Impression 3D
Intelligence artificielle
Aide à la décision

Ingénieure mécatronique chez CompositIC depuis 2022 et diplômée de la formation Mécatronique de l'ENSIBS, je me spécialise dans les projets liés aux jumeaux numériques appliqués à la fabrication de pièces à haute exigence de qualité. J'ai contribué à des projets tels que DIGIPULS3D, pour le développement d'une imprimante 3D moyen format et son jumeau numérique, et AVATAR2, pour le suivi du process LRI d'une porte d'avion grâce à l'intelligence artificielle. Je travaille actuellement sur GEMINI3D, une plateforme de jumeau numérique pour l'impression 3D grand format destinée à différents utilisateurs, visant à piloter le process, garantir la qualité des pièces et optimiser temps, coûts et ressources, et je contribue au développement de la cellule, à la gestion des données, au déploiement des modèles de pilotage IA et à la création des interfaces utilisateurs adaptées.



Nathalie JULIEN

Professeure des universités, Lab-STICC (UMR CNRS 6285) / équipe SHAKER
nathalie.julien@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Méthodologie de conception et de déploiement des jumeaux numériques adaptés aux usages.

MOTS CLÉS

Industrie du futur
Jumeau numérique
Maintenance prédictive

Nathalie JULIEN travaille à l'UBS depuis sa création. Electronicienne de formation, enseignante à l'école d'ingénieurs ENSIBS en filière Génie Industriel 4.0 à Lorient et membre du laboratoire de recherche Lab-STICC, elle travaille depuis 2017 sur les jumeaux numériques en développant une méthodologie de conception et de déploiement basée sur des architectures génériques favorisant la réutilisation et intégrant les interactions avec l'humain, les contraintes juridiques ainsi que les coûts écologiques et économiques. Pour cela, elle anime depuis 2020 différentes équipes et projets transdisciplinaires et œuvre à mettre en place des outils communs et accessibles à tous permettant d'accompagner des partenaires académiques et industriels à faible maturité numérique dans l'appropriation de cette technologie.



François-Xavier LANNUZEL

Direction de la Recherche et Valorisation

francois-xavier.lannuzel@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Partenariats Recherche et Innovation.

MOTS CLÉS

Valorisation

Innovation

Partenariats

Europe, international

Financement de la recherche

Ingénieur Valorisation, François-Xavier LANNUZEL travaille à l'UBS depuis 2005. Il a dirigé l'équipe de transfert et valorisation de la recherche pendant 5 ans, avant de devenir attaché scientifique à Oslo pendant 4 ans puis à Singapour pendant 2 ans. Il a ensuite dirigé l'antenne asiatique de l'institut de recherche technologique SystemX à Singapour pendant 2 ans avant de revenir à l'UBS en 2019. Il est expert en relations partenariales et internationales en recherche. À l'UBS, il développe des projets d'innovation de territoire et est le référent recherche pour l'UBS au sein de l'alliance européenne EMERGE.



Cyran LE GUENNEC

Directeur projet à l'Université Bretagne Sud, plateforme CompositIC

cyrans.le-guennecc@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Ingénieur mécanique et matériaux spécialisé dans le développement de la simulation mécanique, matériaux et jumeau numérique Conception et déploiement de jumeaux numériques.

MOTS CLÉS

Matériaux polymères et composites avancés
Procédés de fabrication additive et composites
Drapage / placement automatisé
Caractérisation mécanique
Simulation numérique
Manager projet Jumeaux numériques pour composites

Cyran LE GUENNEC est ingénieur en mécanique et matériaux venant du milieu industriel du composite aéronautique, est aujourd'hui spécialisé dans les composites avancés et l'innovation industrielle. Directeur projet au sein de la plateforme CompositIC spécialisé dans les polymères et composites, il encadre une équipe de recherche appliquée, il pilote des projets mêlant conception mécanique et matériaux, procédés de fabrication additive et composite, caractérisation des matériaux et développement de solutions numériques. Il coordonne également un pôle dédié à la simulation, aux jumeaux numériques.



Pierre LEMECHKO

Ingénieur de Recherche à UBSIDE

pierre.lemechko@ubside.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Développement de nouveaux biopolymères biosourcés et biodégradables par biotechnologie pour des applications principalement cosmétiques et biomédicales.

MOTS CLÉS

Biopolymères
Poly(hydroxyalcanoate)
Biodégradabilité

Pierre LEMECHKO est ingénieur de recherche à UBSIDE depuis 6 ans après 4 ans à l'IRDL sur des projets de développement de polymères bactériens, les poly(hydroxyalcanoate) ou PHA. Ces polymères sont biosourcés, biodégradables et biocompatibles et il est possible d'ajuster leurs propriétés en fonction des conditions de culture des microorganismes producteurs. Ces procédés de biotechnologie sont très sensibles aux paramètres de culture : c'est pourquoi un projet de démonstrateur de jumeau numérique d'un bioréacteur, la cuve instrumentée dans laquelle sont cultivés ces microorganismes, a été mené en lien avec l'ENSIBS, l'IRDL et l'IMT. Ce projet a permis de proposer une solution possible pour modéliser dans le futur ces procédés et aider à la conduite des productions.



Arnaud PERROT

Institut de Recherche Dupuy de Lome

arnaud.perrot@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Rhéologie, impression 3D, matériaux de construction, ciment, terre.

MOTS CLÉS

Génie Civil

Matériaux de construction

Procédés de construction

Enseignant-chercheur en Génie Civil à l'ENSIBS, responsable de la formation Génie Civil 4.0 et membre de l'IRDL (UMR CNRS 6027), je suis spécialisé dans les matériaux et procédés de construction durables, notamment la terre crue, les bétons imprimés en 3D et la valorisation de ressources locales (sédiments, sables, bio-additifs). Titulaire d'un doctorat en Génie Civil, j'ai développé une expertise en rhéologie, caractérisation microstructurale et couplages hydromécaniques. Mes travaux s'inscrivent dans la transition environnementale et la décarbonation du bâtiment, avec une forte dimension expérimentale et partenariale (ANR, ADEME, RILEM, industrie). J'encadre plusieurs doctorants et participe activement à la formation et la recherche collaborative internationale.



Annabel QUIN

Lab-LEX

annabel.quin@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Droit des affaires et Droit du numérique.

MOTS CLÉS

RGPD

Partage de Données

Intelligence artificielle

Droit des Données

Cybersécurité

Gestion des risques juridiques

Maître de conférences, depuis 2002 à l'UBS, Annabel QUIN a été avocate au barreau de Paris avant de se consacrer à la recherche. Elle porte une attention particulière aux problématiques juridiques. « **Il y a un vrai besoin de règles dans le numérique, ce sont des réglementations à construire** ». Face à la complexité d'un Jumeau Numérique, elle invite à une approche pratique pour explorer son fonctionnement, identifier les problématiques juridiques afin d'aller chercher les réglementations qui soient les plus adaptées. Au niveau de l'entreprise, de la collaboration entre plusieurs entités, du recours à l'IA ou de la sécurité des données, la prise en compte des risques se pense dès la conception.



Philippe RAUFFET

Professeur des Universités, Lab-STICC (UMR CNRS 6285)

philippe.rauffet@univ-ubs.fr

DOMAINE D'EXPERTISE

Coopération entre Opérateurs Humains et Systèmes Cyber-physiques.

MOTS CLÉS

Industrie du Futur

Modélisation et évaluation de la coopération humains-systèmes

Dialogue Homme-Machine

Monitoring des états cognitifs

Enseignant-Chercheur à l'UBS depuis 2012, et Professeur des Universités à l'ENSIBS depuis 2023, Philippe RAUFFET est un spécialiste du Génie Industriel et des systèmes humains-machines. Ses travaux de recherche portent sur la modélisation et l'évaluation des états cognitifs des opérateurs (ex : charge mentale, contrôle cognitif, stress, fatigue), ainsi que sur l'optimisation de la coopération homme-machine (allocation dynamique des fonctions, dialogue adaptatif et transparent entre les humains et les systèmes autonomes). Il étudie ces questions de recherche avec une approche multidisciplinaire, combinant automatique, ingénierie des facteurs humains et traitement et classification des signaux neurophysiologiques. Il applique ses recherches au domaine de l'industrie 4.0, notamment autour de projets traitant du jumeau numérique, de la maintenance prédictive, et de la conception d'assistances pour la supervision et la reconfiguration de la production.



Kimberley VIARON

Doctorante à l'Université Bretagne Sud, Lab-STICC (UMR CNRS 6285)

kimberley.viaron@univ-ubs.fr

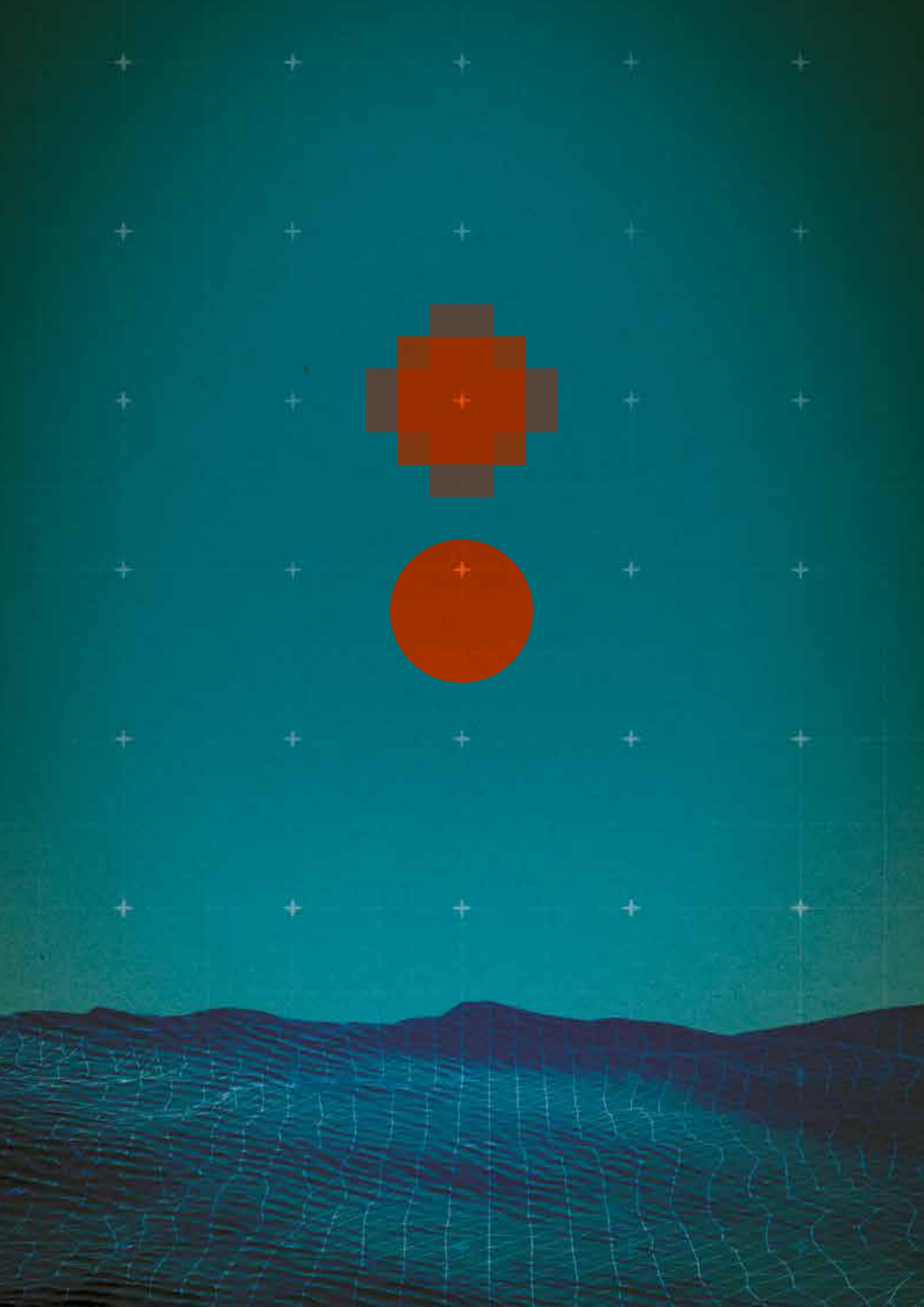
DOMAINE D'EXPERTISE

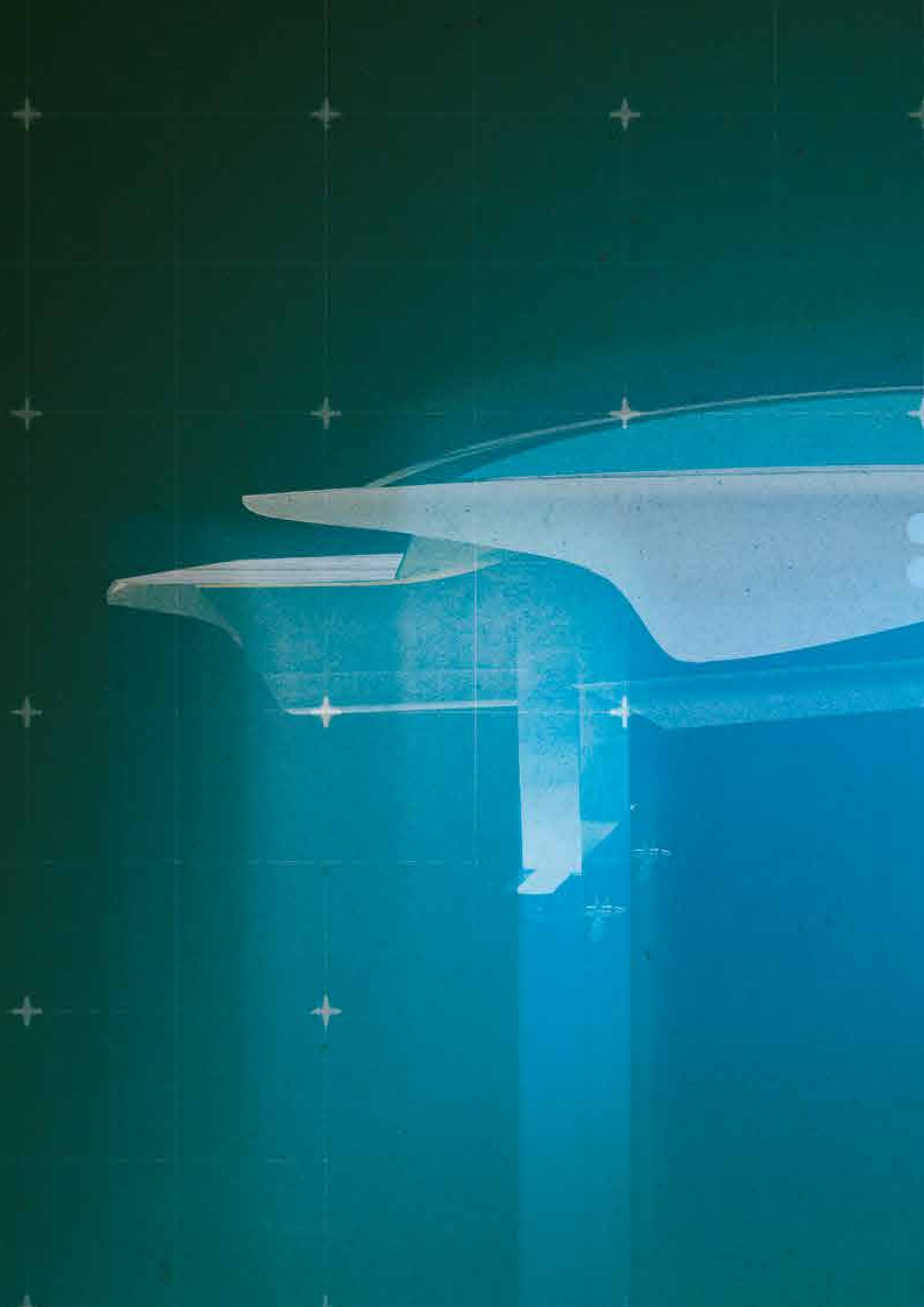
Droit des affaires et Droit du numérique.

MOTS CLÉS

Jumeau numérique du territoire
Génie Industriel 4.0
Simulation
Optimisation et aide à la décision

Kimberley VIARON est doctorante à l'UBS au sein du Lab-STICC depuis 2024, issue de la formation Génie Industriel 4.0 de l'ENSIBS. Elle conduit le projet JUNITER sur les paysages mégalithiques du Morbihan, récemment labellisés patrimoine mondial de l'UNESCO (juillet 2025), en développant une méthodologie de jumeau numérique territorial intégrant des données hétérogènes et des modèles de simulation couplés à l'analyse multicritère pour transformer les signaux en décisions opérationnelles traçables. Ses travaux articulent modélisation des flux visiteurs, préservation du patrimoine et qualité de vie des riverains, avec une attention aux coûts environnementaux et économiques. Elle conçoit des architectures génériques, réutilisables et accessibles aux collectivités, et anime des collaborations transdisciplinaires afin d'outiller les acteurs publics dans la planification, l'évaluation de scénarios et l'anticipation des impacts, notamment liés à la labellisation UNESCO.









Université
Bretagne Sud
ubs: