

SOCIÉTÉ NUMÉRIQUE

ENJEU

I. Pourquoi cet enjeu ?

Tant dans la sphère professionnelle que privée, nous sommes tous des utilisateurs directs ou indirects de systèmes dans lesquels le numérique tient une place centrale. Dans un contexte d'explosion du numérique, du volume et de la variété des données nécessitant des capacités de stockage et de calcul toujours plus grandes, les défis scientifiques qu'adresse l'INSA Toulouse sont nombreux et touchent à plusieurs disciplines : les mathématiques appliquées pour la modélisation de phénomènes complexes et la valorisation de grandes masses de données, l'informatique pour le traitement et la communication de l'information, et la physique avec, en particulier, l'électronique et la physique des matériaux pour créer les supports adaptés. Les objectifs sont multiples et touchent à des applications dans de nombreux domaines, tels que la modélisation de l'évolution climatique, la médecine personnalisée, l'optimisation énergétique, la maintenance prédictive, le traitement des eaux, l'industrie du futur, ou la qualité de vie.

II. Thématiques de recherche et envergure

Les enseignants-chercheurs de l'INSA Toulouse contribuent ainsi à 4 thématiques de recherche, en collaboration étroite avec les chercheurs et enseignants-chercheurs des autres établissements universitaires et organismes de recherche, au sein de l'Université Fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées.

Intelligence artificielle, Modélisation, simulation et Optimisation (IMT, LAAS, LMDC, ICA, TBI)

Le traitement et la valorisation de grandes masses de données, de nature variée, complexe (signaux, images...) et éventuellement analysées en temps réel, soulèvent de nombreux défis dans le domaine de l'apprentissage statistique et de l'optimisation. Nos activités touchent à la détection d'anomalies dans des données fonctionnelles, l'analyse de sensibilité des codes numériques, l'étude théorique des algorithmes d'optimisation utilisés notamment en machine learning, et les algorithmes stochastiques pour la simulation. Des aspects plus fondamentaux sur les performances des procédures statistiques, des algorithmes d'optimisation et de simulation sont également traités.

Les aspects éthiques de l'IA sont aussi abordés, avec des travaux sur la loyauté des décisions algorithmiques et sur la confidentialité des données.

La modélisation numérique de phénomènes physiques est également un axe fort de nos travaux dans le domaine de la mécanique des fluides, en océanographie (collaboration avec le SHOM), en glaciologie et en hydrologie. Les modèles déterministes de systèmes polyphasiques et de mélange dans les réacteurs que nous développons trouvent de nombreuses applications dans le domaine des biotechnologies et du traitement des eaux.

Nos laboratoires sont également impliqués dans le domaine de la mécanique numérique et de l'industrie du futur où la conception, l'élaboration et le suivi du cycle de vie des systèmes s'appuient sur un chaînage digital continu, qui met en jeu des outils de calcul haute performance, d'optimisation, d'assimilation de données et d'intelligence artificielle.

Le couplage de ces modèles déterministes avec des modèles de machine learning basés sur diverses sources de données est un des piliers du projet ANITI, Institut d'Intelligence Artificielle, qui voit le jour à Toulouse. Ces travaux sont adossés à divers partenariats industriels et bénéficient également des actions scientifiques du Labex CIMI.

Systèmes connectés et autonomes (LAAS)

Une part de nos activités concerne les réseaux, et plus généralement les systèmes de communication de nouvelle génération, incluant leurs applications. L'essor de l'Internet des objets (IoT), la multiplication des technologies d'accès radio, notamment la 5G, et une tendance forte à la virtualisation et à la softwarization des réseaux (SDN, NFV, ...) sont le moteur de la refonte des systèmes de communication actuels. Nos études concernent ainsi la conception, la modélisation et le déploiement des architectures logicielles de ces futurs systèmes, du niveau relevant du routage jusqu'au niveau applicatif, dans une optique de déploiement et de (re)-configuration dynamique et autonome.

En liaison avec ces activités, nos recherches portent également sur les méthodes formelles et les outils associés pour la modélisation et la vérification des systèmes concurrents et temporisés. Nous proposons ainsi des passerelles vers les formalismes métier relevant du monde industriel, ainsi que des méthodes symboliques permettant leur application à des cas d'études industriels.

Une autre de nos activités concerne la sûreté de fonctionnement et la résilience des systèmes informatiques au niveau logiciel et matériel, dans l'optique de répondre aux problèmes de confidentialité et de protection de la vie privée, ou encore d'intégrité et de disponibilité des données. Nos travaux visent à protéger les systèmes informatiques via deux approches : la conception d'architectures de sécurité, et la conception de mécanismes de détection d'intrusions, en particulier dans les systèmes embarqués critiques et dans les réseaux d'objets connectés.

Nous contribuons enfin à la conception de capteurs intelligents multi-sensoriels, et plus généralement à la conception de micro et nano-systèmes (smart-objects). Isolés ou en réseau, ils constituent les éléments de base pour les communications sans fil et plus généralement les réseaux de capteurs et l'IoT. Nos recherches se partagent entre les aspects matériels pour lesquels l'électronique joue un rôle central, et les aspects logiciels, tant au niveau du diagnostic embarqué que des protocoles relevant des couches basses. Une attention particulière est portée aux problèmes liés à la consommation et à l'autonomie énergétique (gestion, stockage et récupération de l'énergie).

Ces contributions sont fortement adossées à des activités contractuelles à échelle nationale et internationales,

notamment via des projets industriels d'envergure (CNES, THALES, AIRBUS, etc.), en particulier le projet e-Horizon, pour lequel 21 thèses sont financées par la société Continental DSF sur les différentes thématiques liées aux futurs véhicules autonomes. Nous contribuons aux futurs standards et déploiement des architectures de communication et de services pour les objets connectés (ANR-Carnot OPA, H2020 FIESTA, plate-forme logicielle OM2M).

Matériaux, technologies et dispositifs quantiques (LPCNO, LNCMI, CEMES)

L'étude des propriétés physiques des nano-objets est une thématique historique à l'INSA Toulouse. Ces recherches s'inscrivent dans le cadre du développement des technologies quantiques autour de 4 grands axes que sont les communications sécurisées, la métrologie, la simulation de problèmes non résolus et le traitement des données. Ces technologies joueront un rôle majeur dans les systèmes numériques de demain. Nos enseignants-chercheurs sont moteurs dans le projet d'envergure « Technologies Quantiques en Occitanie » qui fédère les forces académiques et industrielles de Toulouse et Montpellier dans le domaine. Nos activités en optoélectronique quantique et en électronique de spin sont réalisées en partenariat avec des acteurs clés comme Thales et Alcatel-Lucent/Nokia. D'autres travaux se focalisent sur les propriétés magnétiques des nano-objets élaborés par synthèse chimique pour l'enregistrement magnétique haute densité. Enfin, nous développons des techniques originales d'assemblage dirigé de nanoparticules, permettant la réalisation de dispositifs fonctionnels, ce qui a conduit à la création de plusieurs start-up. Parmi les applications importantes, on peut citer les capteurs résistifs à base de nanoparticules conductrices extrêmement sensibles, de taille réduite, particulièrement adaptés pour créer des réseaux de capteurs sans fil communicants. L'ensemble de ces activités s'appuie sur plusieurs plateformes technologiques, en particulier celles financées par le labex NEXT et l'EUR NanoX.

Exploitation des données numériques pour le génie civil et urbain (LMDC, IMT)

Le secteur d'activité du génie civil connaît actuellement une évolution majeure avec l'apparition de la maquette numérique, le BIM. Dans cette perspective, nous travaillons, en particulier, sur

la notion de « jumeau numérique », consistant en la simulation numérique d'une structure existante, typiquement un bâtiment. L'objectif est : 1/ d'estimer les dégradations au cours du temps et optimiser les stratégies de maintenance, et 2/ d'améliorer les performances énergétiques de ces structures. Nos travaux ont également une portée à l'échelle de la ville. Le changement climatique se traduit en effet par l'augmentation du nombre d'îlots urbains de chaleur en période estivale. Les tests de divers dispositifs via des simulations numériques nous permettent d'aménager de manière pertinente les espaces urbains nouvellement construits pour un meilleur confort des habitants.

III. Ambition de formation

Tous les secteurs industriels sont concernés par la transformation numérique (aéronautique, spatial, transport, énergie, télécommunications, santé, ...) de même que les secteurs tertiaires (banque, finance, assurance) pour l'analyse quantitative et l'aide à la décision.

L'analyse de l'insertion professionnelle des ingénieurs INSA Toulouse souligne les très fortes attentes du monde socio-économique pour les métiers du numérique. En Mathématiques Appliquées, nos étudiants acquièrent des compétences en modélisation, en simulation, en optimisation, en traitement du signal et de l'image, en valorisation de données massives et en calcul haute performance. Les spécialités Automatique-Électronique et Informatique et Réseaux couvrent l'éventail de toutes les compétences nécessaires aux métiers du numérique, tant sur les aspects matériels que logiciels, avec une spécialisation au choix en 5^{ème} année sur la sécurité (avec l'INPT), sur les Smart Systems innovants en coordination avec la spécialité Génie Physique, sur les systèmes distribués dans un contexte intégrant le traitement de données massives, ou enfin sur les systèmes informatiques embarqués critiques. Trois mastères spécialisés sont opérés touchant à la Sécurité informatique (avec l'INPT), aux systèmes IoT innovants et sécurisés, et enfin à la valorisation des données massives (VALDOM, avec l'ENSEEIH). Dans le cadre du projet ANITI, l'ambition est d'augmenter significativement le nombre de diplômés en IA, via notamment la création de nouvelles formations par apprentissage.

