

Offres de stages

Niveau	Master 2 / dernière année d'école d'ingénieurs en informatique, génie électrique, ou un domaine lié.
Équipe	Équipe ARN, Laboratoire CRAN (UMR CNRS 7039), Nancy, France
Encadrants	Lemia LOUAIL (lemia.louail@univ-lorraine.fr) Samir SI-MOHAMMED (samir.si-mohammed@univ-lorraine.fr) Moufida MAIMOUR (moufida.maimour@univ-lorraine.fr) Eric RONDEAU (eric.rondeau@univ-lorraine.fr)
Durée	5-6 mois

Candidature

Les candidats intéressés doivent envoyer les documents suivants :

- CV détaillé
- Lettre de motivation
- Relevés de notes

par mail à : lemia.louail@univ-lorraine.fr en classant les sujets par ordre de priorité.

Sujet 1 : Securing Digital Twins : Protecting Communication Links and Models Against Cyber Threats

Context

Digital twins (DTs) have emerged as a cornerstone of Industry 4.0, enabling real-time monitoring, prediction, and optimization of complex systems. By creating a dynamic digital replica of a physical system, DTs provide decision-makers with enhanced visibility and the ability to test scenarios without disrupting operations. They are increasingly deployed in various domains, including smart manufacturing, energy systems, transportation, and healthcare [3, 1].

The power of a digital twin lies in its continuous synchronization with the physical asset, achieved through streams of sensor data, control commands, and feedback mechanisms. However, this tight integration also creates a wide attack surface.

On one hand, the communication link between the physical and the digital systems is exposed to network-based threats. Data packets can be intercepted, delayed, modified, or injected by an attacker, leading to false states in the twin and potentially dangerous decisions in the physical world. For example, falsifying temperature readings in a smart factory could cause the DT to underestimate overheating risks, resulting in damage to equipments [2].

On another hand, the digital twin environment itself (typically deployed on cloud, edge, or virtualized platforms) faces classic cybersecurity risks. Intruders may attempt to access the DT platform to exfiltrate sensitive data, modify the simulation model, or execute malicious commands that propagate back to the physical system [2, 4].

Problem Statement

The reliability of a digital twin depends not only on its modeling accuracy but also on the trustworthiness of its data flows and the resilience of its hosting environment. If an attacker manipulates the communication channel, the DT may operate on falsified information, reducing its accuracy and possibly causing harmful decisions. Similarly, if the DT model or platform is compromised, attackers could gain unauthorized control, steal sensitive process data, or alter the behavior of the physical system itself.

The challenge is therefore twofold :

1. How to protect the integrity, confidentiality, and availability of communication links between the physical system and the digital twin in the presence of cyber threats ?
2. How to secure the digital twin model and platform against intrusions, tampering, and misuse, while maintaining real-time performance and scalability ?

Objectives

- Identify and classify cyber threats against DTs, focusing on the communication channel and the model environment.
- Implement and test lightweight mechanisms to secure the data link.
- Investigate intrusion detection or access control solutions for the digital twin model.
- Evaluate the proposed solutions on a small-scale experimental setup.

Methodology

- Literature review on cyber threats and defenses for DTs.
- Development of a minimal experimental architecture.
- Simulation of representative attacks (data falsification, replay, intrusion attempts).
- Implementation of countermeasures.
- Evaluation of performance (latency, overhead, detection accuracy).

Expected Contributions

- A comparative study of vulnerabilities affecting communication and/or model security in DTs.
- A proof-of-concept implementation of security mechanisms.
- Practical recommendations for deploying secure digital twins in industrial contexts.

Keywords

Cybersecurity ; Artificial intelligence, Networks modeling

Références

- [1] Blessing AIREHENBUWA et al. « Advancing Security with Digital Twins : A Comprehensive Survey ». In : *arXiv preprint arXiv :2505.17310* (2025).
- [2] Mohammed EL-HAJJ. « Leveraging digital twins and intrusion detection systems for enhanced security in IoT-based smart city infrastructures ». In : *Electronics (Switzerland)* 13.19 (2024), p. 3941.
- [3] Abdul Rehman QURESHI et al. « A survey on security enhancing Digital Twins : Models, applications and tools ». In : *Computer Communications* (2025), p. 108158.
- [4] Ali SAYGHE. « Digital Twin-Driven Intrusion Detection for Industrial SCADA : A Cyber-Physical Case Study ». In : *Sensors* 25.16 (2025), p. 4963.

Sujet 2 : Adaptive Resource Allocation for Optimizing Wireless Network Behavior in Digital Twin Synchronization

Context

Digital Twins (DTs) rely on continuous, bidirectional communication between a physical system and its virtual counterpart. This communication often depends on wireless networks (Wi-Fi, 5G, LoRaWAN, etc.), which must handle heterogeneous traffic, variable channel conditions, and resource constraints [2, 3]. Ensuring real-time synchronization between the physical system and the DT is crucial for accuracy, responsiveness, and reliability, particularly in industrial and IoT contexts where latency, jitter, packet loss, and bandwidth limitations can degrade performance. Traditional static resource allocation methods in wireless networks cannot guarantee optimal performance under dynamic and unpredictable conditions [3, 1].

Adaptive algorithms, leveraging concepts from AI, reinforcement learning, or heuristic optimization, offer promising approaches to dynamically manage network resources such as bandwidth, transmission power, and scheduling policies. By optimizing how these resources are allocated, it is possible to improve both network performance and the fidelity of the DT, while also reducing energy consumption and unnecessary overhead.

Problem Statement

Ensuring reliable synchronization between physical systems and digital twins over wireless networks raises several unresolved challenges :

1. Which network parameters (latency, jitter, packet loss, throughput, energy consumption) most critically affect the fidelity and responsiveness of digital twins ?
2. How to design adaptive algorithms that can dynamically reallocate wireless resources in real time under varying and unpredictable network conditions ?
3. How to balance conflicting objectives, such as maximizing DT accuracy and responsiveness while minimizing energy consumption and avoiding network congestion ?
4. How to validate and compare the effectiveness of adaptive allocation strategies across different wireless technologies (e.g., Wi-Fi, 5G, LoRaWAN) and digital twin use cases ?

The work aims to address these questions by proposing and evaluating adaptive resource allocation methods capable of optimizing wireless network behavior to sustain accurate and efficient digital twin synchronization.

Methodology

- Model the resource allocation problem in wireless networks for digital twin synchronization, identifying key performance indicators (latency, jitter, packet loss, throughput).
- Implement representative scenarios using network and digital twin simulation tools (e.g., NS-3, OMNeT++, etc).
- Design adaptive resource allocation policies, with a focus on RL agents.
- Test and evaluate these policies under varying traffic loads, mobility patterns, and interference conditions, comparing them against static or heuristic baselines.

Expected Contributions

- A novel adaptive resource allocation framework, capable of adjusting in real time to varying conditions.
- A validated prototype/simulation model demonstrating the effectiveness of adaptive algorithms in improving DT performance.
- Guidelines and recommendations for integrating adaptive resource allocation into industrial DT deployments.

Keywords

Network modeling ; Artificial intelligence ; Performance evaluation ; Network simulation

Références

- [1] Nikolaos APOSTOLAKIS et al. « Digital twins for next-generation mobile networks : Applications and solutions ». In : *IEEE Communications Magazine* 61.11 (2023), p. 80-86.
- [2] Latif U KHAN et al. « Digital twin of wireless systems : Overview, taxonomy, challenges, and opportunities ». In : *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 24.4 (2022), p. 2230-2254.
- [3] Shah ZEB et al. « Industrial digital twins at the nexus of NextG wireless networks and computational intelligence : A survey ». In : *Journal of Network and Computer Applications* 200 (2022), p. 103309.

Sujet 3 : Knowledge Distillation pour réduire la complexité des modèles d'apprentissage pour la prédiction de performances réseau

Contexte :

L'Internet des Objets (IoT) repose sur un ensemble de technologies de communication sans-fil permettant de connecter des capteurs et objets contraints en énergie et en capacité de calcul. Afin d'évaluer la qualité de service des communications, des indicateurs de performance tels que la fiabilité (Packet Delivery Ratio, PDR), la latence et le nombre de retransmissions sont généralement étudiés.

Aujourd'hui, l'essor de l'apprentissage automatique ouvre de nouvelles perspectives pour la prédiction des performances réseau. Plutôt que de s'appuyer uniquement sur des modèles analytiques ou des simulations, il est possible d'entraîner des modèles prédictifs à partir de données expérimentales ou simulées [3]. Cependant, une difficulté majeure réside dans le compromis entre la précision des modèles et leur légèreté pour un déploiement en environnements contraints.

Le concept de "Knowledge Distillation (KD)" [2] est une approche de compression de modèles qui consiste à transférer la connaissance d'un modèle complexe (*enseignant*, ou *teacher*) vers un modèle plus léger (*étudiant*, ou *student*). Elle est particulièrement adaptée aux réseaux IoT, où il est essentiel de réduire les coûts en mémoire et en calcul tout en préservant la capacité prédictive [1].

Sujet :

Ce stage propose d'étudier l'utilisation de la Knowledge Distillation pour la prédiction des performances réseau dans les réseaux sans-fil et IoT. Deux approches seront comparées :

- **Un modèle global réduit** : un modèle *enseignant* entraîné sur l'ensemble du réseau pour prédire les performances (fiabilité, latence, retransmissions) en fonction des paramètres de configuration (backoff, contention window, etc.), puis distillé en un modèle *étudiant* réduit.
- **Des modèles par lien** : des modèles entraînés individuellement par lien de communication (chaque lien a son propre modèle) pour faire une prédiction plus affinée.

L'objectif est de comparer ces deux stratégies en termes de précision prédictive et de coût computationnel. Les tâches identifiées sont les suivantes :

- Revue bibliographique sur KD appliquée à l'IoT et aux réseaux sans-fil,
- prise en main des environnements de simulation (e.g., ns-3) et/ou d'expérimentation (e.g., FIT IoT-Lab),
- collecte de données de performance réseau (fiabilité, latence, retransmissions) dans différents scénarios et configurations,
- entraînement de modèles enseignants (globaux et par lien),
- application de techniques de KD pour obtenir des modèles étudiants réduits,

- comparaison des deux approches en termes de précision et de complexité.

Pré-requis :

- Connaissances en apprentissage automatique (deep learning, réseaux de neurones).
- Compétences en Python (PyTorch/TensorFlow).
- Intérêt pour les réseaux sans-fil/IoT et la simulation (ns-3, Contiki-NG, FIT IoT-Lab).
- Intérêt pour la recherche.

Mots-clés

Intelligence Artificielle ; Modélisation Réseau ; Évaluation de Performance

Références

- [1] Gad GAD et al. « Communication-Efficient Federated Learning in Drone-Assisted IoT Networks : Path Planning and Enhanced Knowledge Distillation Techniques ». In : *2023 IEEE 34th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. 2023, p. 1-7.
- [2] Jianping Gou et al. « Knowledge distillation : A survey ». In : *International journal of computer vision* 129.6 (2021), p. 1789-1819.
- [3] Samir Si-MOHAMMED et al. « Ns+ ndt : Smart integration of network simulation in network digital twin, application to iot networks ». In : *Future Generation Computer Systems* 157 (2024), p. 124-144.

Sujet 4 : Calibrage de paramètres de simulation pour concevoir le Jumeau Numérique d'un réseau

Contexte :

L'Internet des objets (IoT) occupe aujourd'hui une place importante dans notre quotidien. Différents capteurs et autres objets connectés sont utilisés afin de faire de la mesure et de la remontée de données (température, humidité, etc.) aux utilisateurs, utilisées par la suite pour la prise de décision ou pour le suivi. Afin d'assurer des transmissions de données avec les meilleures performances (taux de perte, latence, débit, etc.), plusieurs technologies de communication peuvent être utilisées (Wi-Fi, Zigbee, LoRa, etc.) [3]. Parmi celles-ci, la norme IEEE 802.15.4 est souvent employée dans les réseaux IoT pour ses avantages en termes de faible consommation d'énergie et de gestion des réseaux de capteurs. Cette norme repose sur le protocole CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) pour réguler l'accès au canal radio. Ce protocole fonctionne en évitant les collisions grâce à une écoute préalable du canal avant toute transmission et à l'introduction de délais aléatoires lorsque le canal est occupé.

Dans le bus d'évaluer les performances d'une technologie de communication avant son déploiement, il est courant d'employer la simulation pour réduire les coûts et obtenir des résultats fiables. Cependant, il est essentiel de confronter les résultats obtenus en simulation (via des outils comme Cooja¹ [5]) avec ceux obtenus dans des environnements réels d'expérimentation comme FIT IoT-Lab² [1]. Cela permet de mieux comprendre les différences entre modèles simulés et environnements réels, notamment pour des paramètres clés comme la fiabilité et la latence. Dans ce contexte, le concept de "**Jumeau Numérique (JN)**" [2] vise à reproduire fidèlement le comportement d'un système physique à l'aide d'une modélisation orientée données. Le couplage de l'expérimentation et de la simulation permet d'aboutir à un jumeau numérique précis du réseau [4].

Sujet :

Ce stage propose d'étudier les différences et similitudes entre un environnement de simulation (Cooja) et un environnement d'expérimentation (FIT IoT-Lab) concernant les performances du protocole CSMA/CA utilisé dans la norme IEEE 802.15.4, afin de concevoir le jumeau numérique d'un réseau. L'accent sera mis sur l'impact des paramètres de configuration (backoff, contention window, etc.) sur les performances réseau, notamment la fiabilité et la latence. Les tâches identifiées sont les suivantes :

- Prise en main en surface du simulateur Cooja et de la plateforme FIT IoT-Lab,
- utilisation des implémentations du protocole CSMA/CA dans les deux environnements,
- analyse comparative des performances réseau en termes de fiabilité et latence,

1. <https://github.com/contiki-os/contiki/wiki/An-Introduction-to-COOJA>

2. <https://www.iot-lab.info/>

- l'intégration de méthodes d'intelligence artificielle pour :
 - Calibrer automatiquement les modèles de simulation (e.g., en ajustant les paramètres de propagation radio),
 - prédire les performances réelles à partir des simulations grâce à des techniques d'apprentissage supervisé.

Pré-requis :

- Bonne compréhension des réseaux, protocoles, etc.
- Bonne compréhension de l'intelligence artificielle (modèles de régression, réseaux de neurones, etc.) et de son usage.
- Compétences en programmation (Python, C).
- Intérêt pour la recherche.

Mots-clés

Intelligence Artificielle ; Modélisation Réseau ; Évaluation de Performance

Références

- [1] Cedric ADJIH et al. « FIT IoT-LAB : A large scale open experimental IoT testbed ». In : *2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*. IEEE. 2015, p. 459-464.
- [2] Mehdi KHERBACHE, Moufida MAIMOUR et Eric RONDEAU. « Network digital twin for the industrial internet of things ». In : *2022 IEEE 23rd International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*. IEEE. 2022, p. 573-578.
- [3] Samir Si-MOHAMMED et al. « HINTS : A methodology for IoT network technology and configuration decision ». In : *Internet of Things 22 (2023)*, p. 100678.
- [4] Samir Si-MOHAMMED et al. « Ns+ ndt : Smart integration of network simulation in network digital twin, application to iot networks ». In : *Future Generation Computer Systems 157 (2024)*, p. 124-144.
- [5] Fredrik OSTERLIND et al. « Cross-level sensor network simulation with cooja ». In : *Proceedings. 2006 31st IEEE conference on local computer networks*. IEEE. 2006, p. 641-648.