

**École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Rabat**

Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Monsieur Mohammed ESSOUABNI

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'Ingénieur

Formation doctorale : Sciences de l'Ingénieur-Génie Electrique

Le 17 octobre 2026 à 10h00 au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

**Système intelligent hybride pour la surveillance et la détection
précoce des fuites d'eau : intégration des architectures
Transformers et du protocole LoRaWAN**

Président :

Pr. Abdennaser BOUROUHO, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Directeur de thèse :

Pr. Abdelilah JILBAB, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Ahmed EL AKKARY, PES, EST Salé, Université Mohammed V, Rabat

Pr. Mohammed NAHID, PES, FST Mohammedia, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Ouadoudi ZYTOUNE, PES, ENSA Kenitra, Université Ibn Tofaïl, Kenitra

Examineurs :

Pr. Atman JBARI, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Ahmed KABOURI, PES, EST Salé, Université Mohammed V, Rabat

Invité :

Pr. Jamal EL MHAMDI, Expert, Ex-professeur à l'ENSAM, UM5 Rabat

Résumé :

L'eau est une ressource vitale indispensable à la vie humaine, au développement économique et à l'équilibre écologique. Cependant, la gestion rationnelle ainsi que l'entretien des installations d'eau potable et d'assainissement restent confrontés à de multiples défis, en particulier les pertes hydriques significatives dans les réseaux de distribution d'eau (WDN). Ces pertes, communément désignées par l'eau non génératrice de revenus, représentent un enjeu économique majeur pour les gestionnaires et les exploitants de ces réseaux, ainsi qu'un défi environnemental et sociétal préoccupant. Elles résultent principalement de fuites dues à l'usure des canalisations, aux variations de pression et à la dégradation des matériaux. Leur détection précoce et leur localisation précise deviennent ainsi primordiales pour réduire les coûts d'exploitation et améliorer la durabilité des réseaux hydrauliques.

Face à ces problématiques, de nombreuses techniques innovantes émergent, modifiant progressivement les stratégies traditionnelles. Parmi ces avancées, l'internet des objets (IoT) et l'intelligence artificielle (IA) apparaissent comme des approches particulièrement prometteuses, offrant des solutions à la fois robustes et économiques. Cette thèse s'inscrit précisément dans ce cadre. Elle propose l'utilisation combinée des technologies IoT, notamment via le Réseau étendu à longue portée (LoRaWAN), et des méthodes avancées de traitement du signal couplées à l'apprentissage automatique (ML) pour la détection et la localisation en temps réel des fuites d'eau.

Dans ce contexte, les contributions de cette thèse s'articulent autour de deux axes majeurs. Le premier axe est consacré à la conception d'un système intelligent de surveillance à distance et en temps réel des conduites de transport d'eau, fondé sur les technologies de l'IoT, et plus particulièrement sur le protocole LoRaWAN. Le second axe explore des approches avancées en IA. Il met l'accent sur une modélisation hybride associant le traitement du signal et le ML, incluant des architectures fondées sur les Transformers optimisées afin de limiter la charge computationnelle. Il intègre également l'apprentissage en ligne (OL) comme modalité d'entraînement incrémental pour assurer une détection adaptative aux régimes fluctuants. L'efficacité de ces méthodes est ensuite évaluée à partir de données issues de divers capteurs, acquises sous différentes conditions opérationnelles de fond.

Enfin, cette thèse propose une approche intégrée et innovante pour répondre aux défis liés à la gestion des pertes d'eau, en combinant des technologies avancées et des méthodes sophistiquées d'analyse des données. À travers cette démarche, nous ambitionnons de contribuer significativement à l'amélioration de l'efficacité opérationnelle des WDN, à la réduction des coûts associés aux pertes hydriques et à la promotion d'une gestion durable et responsable de cette ressource précieuse.

Mots-clés : accéléromètre ; apprentissage automatique ; apprentissage en ligne ; capteurs de niveau à ultrasons ; détection de fuites d'eau ; Internet des objets ; LoRaWAN ; traitement du signal.

Abstract:

Water is a vital resource that is indispensable to human life, economic development, and ecological balance. However, the rational management and maintenance of drinking water and sanitation systems continue to face multiple challenges, particularly significant water losses within distribution networks. These losses, commonly referred to as Non-Revenue Water (NRW), represent a major economic issue for network managers and operators, as well as a pressing environmental and societal concern. They mainly result from leaks caused by pipeline wear, pressure fluctuations, and material degradation. Their early detection and precise localisation have therefore become essential for reducing operating costs and improving the sustainability of Water Distribution Networks (WDN).

In response to these challenges, numerous innovative techniques are emerging, progressively transforming traditional strategies. Among these advancements, the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) stand out as particularly promising approaches, offering solutions that are both robust and cost-effective. This thesis aligns precisely with this context. It proposes the combined use of IoT technologies, notably via the Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) communication protocol, and advanced signal processing coupled with Machine Learning (ML) for real-time water leak detection and localisation.

In this context, the contributions of this thesis are structured around two major axes. The first axis focuses on the design of an intelligent remote and real-time monitoring system for water transport pipelines, based on IoT technologies, and more specifically on the LoRaWAN protocol. The second axis explores advanced approaches in AI. It emphasises hybrid modeling combining signal processing and ML, including Transformer-based architectures optimised to reduce computational load. It also integrates Online Learning (OL) as an incremental training modality to ensure adaptive detection under fluctuating regimes. The effectiveness of these methods is then evaluated using data acquired from various sensors under different background operational conditions.

Finally, this thesis proposes an integrated and innovative approach to addressing current challenges in water loss management by combining advanced technologies with sophisticated data analysis methods. Through this approach, we aim to contribute significantly to improving the operational efficiency of WDN, reducing the costs associated with water losses, and promoting the sustainable and responsible management of this precious resource.

Keywords: accelerometer; Internet of Things; LoRaWAN; machine learning; online learning; signal processing; ultrasonic level sensors; water leak detection.