Offre de stage de Master 2

CETU – SFTRF – Institut Pascal
Démarrage : février 2027

Titre : Développement d'une maquette numérique pour un jumeau numérique de gestion exploitation maintenance d'un tunnel routier en service

Mots Clés : Jumeau Numérique, BIM (Building Information Modeling), Tunnel Routier, Interopérabilité, Intelligence Artificielle, Exploitation, Maintenance

Laboratoire d'accueil : CETU (https://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/)

Le CETU, Centre d'Études des Tunnels, est un service technique central du ministère en charge des transports, directement rattaché à la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et des Mobilités. À la fois centre de ressources, d'expertise et de recherche, il est basé à Bron, près de Lyon.

Depuis plus de 50 ans, le CETU accompagne les professionnels des tunnels et de l'espace souterrain : maîtres d'ouvrage, exploitants, ingénieries et entreprises. Pluridisciplinaire, il intervient à toutes les phases des projets, depuis la conception jusqu'à la réalisation, l'exploitation et la gestion du patrimoine. Son expertise spécialisée s'exerce sur le plan de la sécurité, des équipements et du génie civil et s'applique à toutes les catégories de tunnels de transports et autres espaces souterrains.

Equipe d'encadrement : l'équipe d'encadrement sera constituée du Centre d'Etude des Tunnels – CETU (Bron), de la SFTRF (Modane) et de l'Institut Pascal (Clermont-Ferrand).
Site internet de la SFTRF : https://www.sftrf.fr/
Site internet de l'Institut Pascal : http://www.institutpascal.uca.fr/index.php/fr/

Description du sujet de stage

Les infrastructures routières souterraines, telles que les tunnels, jouent un rôle stratégique dans le réseau de transport urbain, interurbain, national et international. Leur exploitation sécurisée, performante et durable est un enjeu majeur pour les gestionnaires d'infrastructures, en particulier face à la densification du trafic, aux exigences croissantes en matière de sécurité et de résilience. Par ailleurs, la transition numérique contribue au développement de maquettes numériques (MN), de l'Internet des Objets (IoT) et de l'Intelligence Artificielle (IA). Dans ce contexte, le concept de jumeau numérique émerge comme une solution innovante pour repenser l'exploitation des tunnels routiers à travers une modélisation numérique dynamique, connectée et évolutive de l'infrastructure physique.
Un jumeau numérique [1] est une réplique virtuelle d'un système physique, qui intègre en temps réel les données issues de capteurs, de systèmes de supervision et d'informations environnementales, pour permettre l'analyse, la simulation, la prise de décision et l'action en retour dans le système physique. Dans le cas d'un tunnel routier, il peut couvrir des dimensions variées : circulation et flux de véhicules, gestion des équipements (ventilation, éclairage, signalisation), sécurité (incendie, évacuation), maintenance préventive, et impact environnemental (qualité de l'air, bruit, consommation énergétique). L'ambition est de fournir un outil capable de représenter fidèlement l'état du tunnel, de prévoir les évolutions futures, et de piloter intelligemment son exploitation.

Des développements de jumeaux numériques pour différents cas d'usage (visualisation des tunnels tels que construits [2, 3], gestion de crise en cas d'incendie [1], gestion des inspections et de la programmation des maintenances structurelles [4, 5], simulation du trafic [6], simulation de la phase de réalisation [7, 8], etc.) ont d'ores et déjà été réalisés. Ces jumeaux numériques sont généralement développés pour un seul cas d'usage. L'intérêt du projet de recherche associé à ce sujet de Master 2 est d'intégrer dans un même jumeau numérique l'ensemble des cas d'usage pour la gestion exploitation maintenance d'un tunnel routier (dynamique du trafic, ventilation et dispersion des fumées ou polluants, interaction entre les équipements et leur impact sur la sécurité et la performance, formation des personnels, suivi du génie civil et opération de maintenance) en intégrant des données en temps réel de sources multiples.

Le CETU contribue activement au développement de la transition numérique : animation du GT 45 et du WG22 au sein de l'AFTES et de l'AITES, contribution au développement du format interopérable IFC dans le cadre du projet MINND[1], expérimentation interne sur 2 tunnels (Oloron en conception et Butte d'Osse en exploitation) afin de tester les capacités et les limites du Building Information Modeling (BIM) pour des ouvrages souterrains. Ces deux expérimentations ont permis de démontrer : que le BIM est adapté à la modélisation des équipements et du Génie Civil en phase de conception ainsi qu'en phase d'exploitation tant que le Niveau d'Information Requis (LOIN) est correctement défini.

La problématique centrale de ce sujet de Master 2 est de développer une maquette numérique servant de support au futur jumeau numérique. Une réflexion devra également être menée (notamment en termes d'interopérabilité, de format de modélisation, de collecte et traitement de données en masse, etc.) pour rendre le développement du futur jumeau numérique possible. Ce jumeau numérique ayant pour finalité d'améliorer la gestion en temps réel et la performance globale d'un tunnel routier, tout en intégrant les contraintes techniques, opérationnelles et économiques spécifiques à ce type d'infrastructure.

Références bibliographiques :

[1] X. Zhang, Y. Jiang, X. Wu, Z. Nan, Y. Jiang, J. Shi, Y. Zhang, X. Huang et G. G. Huang, «AIoTenabled digital twin system for smart tunnel fire safety management», Developments in the Built Environment, vol. 18, p. 100381, 2024.
[2] Afrazi M., Armaghani D.J., Afrazi H., Fattahi H., Samui P., «Real-time monitoring of tunnel structures using digital twin and artificial intelligence: A short overview», Deep Underground Science Engineering, DOI: 10.1002/dug2.70029.
[3] Wu Z., Chang Y., Li Q., Cai R., «A Novel Method for Tunnel Digital Twin Construction and Virtual-Real Fusion Application», Electronics, https://doi.org/10.3390/electronics11091413.
[4] Y. Gang, W. Yi, M. Zeyu, H. Min, S. Vijayan, K. Wang, «A digital twin-based decision analysis framework for operation and maintenance of tunnels», Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research, https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104125.
[5] L. Bellini Machado, M. Massao Futai, «Tunnel performance prediction through degradation inspection and digital twin construction», Tunnelling and Underground Space Technology incorporating Trenchless Technology Research, https://doi.org/10.1016/j.tust.2023.105544.
[6] N. Diren et S. Althen, «Tunnel 4.0: Managed digital twin for tunnel operations», Expanding Underground - Knowledge and Passion to Make a Positive Impact on the World, 2023, pp. 2635-2642.
[7] Y. Zijian, Y. Ying, Z. Chengping, Z. Zhiming, L. Wei, W. Xuejie Wang, W. Lei, W. Libin, «A digital twin approach for tunnel construction safety early warning and management», Computers in Industry, https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103783.
[8] L. Tao, L. Xiaojun, R. Yi, L. Jiaxin, Z. Sicheng, Z. Hehua, «Digital twin for intelligent tunnel construction», Automation in Construction, https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105210.

[1] https://minnd.fr/

Poursuite en thèse : ce sujet de Master 2 a la possibilité de se poursuivre par une thèse de doctorat en thèse CIFRE dans les locaux de la SFTRF à Modane à partir de septembre 2027. L'équipe d'encadrement sera semblable à celle de ce stage de Master 2.

Profil du candidat :
Le(La) candidat(e) recherché(e) doit avoir des compétences en BIM et en Intelligence Artificielle. Des compétences en génie civil et équipements de tunnels routiers seraient un plus. Langue de travail : français.

Lieu de travail : CETU à Bron

Gratification de stage : 4,5 €/h, 35 h par semaine

Contacts :
Florent ROBERT (CETU) - florent.robert@developpement-durable.gouv.fr – 06 30 67 00 16
Quentin CHEVRIER (CETU) - quentin.chevrier@developpement-durable.gouv.fr - 06 62 12 65 50
Aurélie TALON (IP) - aurelie.talon@uca.fr - 04 73 40 75 27
Pierre BREUL (IP) - pierre.breul@uca.fr - 04 73 40 75 01
Aurélien PARDIN (SFTRF) - aurelien.pardin@frejustunnel.eu - 04 79 20 26 34

Mode de candidature :
Merci de transmettre **au plus tard le 15/11/2026** à Aurélie TALON :

- CV
- Lettre de Motivation
- Vos relevés de notes post-bac jusqu'au M1
- Lettres de recommandations
- Un document présentant de manière synthétique les travaux réalisés vis-à-vis de la modélisation numérique
- Un document répondant à ces trois questions :
    - Quels sont les travaux de synthèse documentaire que vous avez eu l'occasion de réaliser dans votre cursus de formation ?
    - Quelles sont vos compétences acquises ou à acquérir vis-à-vis du sujet proposé ?
    - Décrivez succinctement les étapes (et leurs durées) que vous proposeriez pour répondre à la problématique du stage.

Les auditions des pré-sélectionné(e)s auront lieu à partir du 07/12/2026.