



**MINISTÈRE  
CHARGÉ  
DES TRANSPORTS**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



**2023**

**Rapport d'activité**



Service Technique Central du ministère chargé des transports, rattaché au Directeur Général des Infrastructures, des Transports et des Mobilités (DGITM), le CETU a en charge l'ensemble des aspects techniques relatifs aux ouvrages souterrains et intervient à tous les stades, depuis la conception jusqu'à l'exploitation et la gestion du patrimoine, tant sur le plan des équipements qu'en matière de génie civil.

# Sommaire

Éditorial .....	4
Organigramme.....	5
Répondre aux enjeux sociétaux.....	6
Nos missions.....	9
Définir les règles de l'art.....	10
Approfondir la connaissance.....	16
Animer les réseaux.....	22
Accompagner les projets.....	28
Accompagner la vie des ouvrages.....	34
Publications.....	40
Lexique.....	43

# Éditorial

**S**i les missions principales du CETU (définir les règles de l'art, approfondir la connaissance, animer les réseaux, accompagner les projets et la vie des ouvrages) restent toujours d'actualité, les activités au sein de ces missions continuent à évoluer pour s'adapter aux nouveaux enjeux, notamment en lien avec la transition écologique.

Centre de ressource et d'expertise public indépendant, le CETU veille à maintenir un équilibre entre recherche et doctrine, ingénierie et contribution à l'animation de la profession, tant au niveau national qu'international. Cet équilibre lui permet de conserver une excellence technique

**« Le CETU veille à conserver une excellence technique sur laquelle nos partenaires peuvent s'appuyer. »**

individuelle et collective sur laquelle nos partenaires peuvent s'appuyer. Cette expertise, reconnue par le Ministère, est mobilisée pour répondre aux attentes récurrentes, actuelles et émergentes de la profession : la sécurité des ouvrages, la bonne gestion du patrimoine, la sobriété énergétique, la transformation numérique, la prise en compte des nouvelles mobilités et des nouveaux modes de propulsion.... autant de sujets que le CETU continue d'approfondir.



**Olivier Colignon – Directeur**  
**Éric Premat – Directeur délégué à l'expertise technique et à l'international**

L'ensemble du personnel du CETU est heureux de vous présenter son rapport d'activité pour l'année 2023. Nous espérons qu'il permettra aux lecteurs d'apprécier la richesse et la diversité des actions menées : contribution à la doctrine technique nationale et internationale, expérimentations et innovations dans le cadre d'actions de recherche appliquée, animation de comités ou groupes de travail français et internationaux, accompagnement des maîtres d'ouvrage de la phase de conception à la phase d'exploitation, participation aux activités de la CNESOR et des comités de sécurité des tunnels transfrontaliers...

Nous tenons à saluer tout le personnel du CETU, des experts techniques aux agents administratifs, qui travaille avec passion à donner satisfaction à l'ensemble de nos partenaires. Son engagement au quotidien nous permet de continuer à soutenir la profession et à œuvrer pour un souterrain sûr et durable.

Bonne lecture !

# Organigramme

Au 1<sup>er</sup> juillet 2024

## Pôles techniques

GÉOLOGIE,  
GÉOTECHNIQUE  
ET DIMENSIONNEMENT  
**Nicolas BERTHOZ**

PROCÉDÉS DE  
CONSTRUCTION,  
MARCHÉS ET EXÉCUTION  
**Catherine CABUT**

MATÉRIAUX,  
STRUCTURES  
ET VIE DE L'OUVRAGE  
**Sébastien BOUTEILLE**

VENTILATION ET  
ENVIRONNEMENT  
**Antoine MOS**

SÉCURITÉ  
**Hélène MONGEOT**

EXPLOITATION  
**Frédéric MURARD**

ÉQUIPEMENTS  
ÉLECTRIQUES  
ET DE GESTION  
**Séverine BESSON**

## Direction

DIRECTEUR  
**Olivier COLIGNON**

DIRECTEUR DÉLÉGUÉ  
À L'EXPERTISE  
TECHNIQUE ET  
À L'INTERNATIONAL  
**Éric PREMAT**

COMMUNICATION  
ET ACTIVITÉS  
INTERNATIONALES  
**Kristen DROUARD**

## Animation transversale

OBSERVATOIRE  
**Romain MERCIER**

PRÉVENTION SANTÉ  
ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL  
**Agnès CHERREY**

APPUI TECHNIQUE  
INGÉNIERIE ET DESSIN  
**Patricia LECHEVERT**

## Chargés de Mission

AVIS ET CONTRÔLE  
EXTERNE ÉQUIPEMENTS  
**Jean-François BURKHART**

AVIS ET CONTRÔLE  
EXTERNE GÉNIE CIVIL  
**Didier SUBRIN**

RECHERCHE  
ET PARTENARIATS  
**Catherine LARIVE**

ACTIVITÉS  
INSTITUTIONNELLES  
ET TRANSFORMATION  
NUMÉRIQUE  
**Florent ROBERT**

TRANSITION DANS  
LES PRATIQUES  
ET DÉVELOPPEMENT  
DURABLE  
**Laetitia d'ALOIA**

## Secrétariat Général

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL  
**Cyrille BERNAGAUD**

PERSONNEL ET  
FORMATION  
**Arielle TARDY**

MOYENS GÉNÉRAUX  
**Guillaume FAURE**

UNITÉ  
INFORMATIQUE  
ET BUREAUTIQUE  
**Laurent BEAUJEU**

CONSEIL EN  
GESTION, QUALITÉ  
ET INGÉNIERIE  
**Lucile FAYOLLE**

COMPTABILITÉ  
**Khadjida BOURAHLA**

DOCUMENTATION  
**Armelle EMERY**  
**Nathalie ROCHET**

# Répondre aux enjeux sociétaux

## AGIR POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Mise en place en 2021, la Mission « Transition dans les pratiques et développement durable » (TPDD) du CETU a l'objectif de mobiliser les acteurs du souterrain en faveur de la transition écologique, depuis la conception des ouvrages jusqu'à leur exploitation, tant sur le plan des équipements qu'en matière de génie civil.

L'ambition de la Mission TPDD est de favoriser l'émergence de pratiques plus économes en ressources et plus respectueuses de l'environnement, de développer des méthodes et outils d'évaluation pour mettre en œuvre ces pratiques et de les porter auprès des acteurs de la profession.

Trois principaux enjeux ont été identifiés dans la feuille de route de la Mission TPDD :

- **Favoriser la sobriété énergétique** : consommer moins, récupérer de l'énergie et produire des énergies renouvelables.
- **Accompagner la transition vers une économie circulaire**

en optimisant l'utilisation des ressources naturelles et en mieux gérant les matériaux excavés à travers le réemploi et la valorisation.

- **Agir pour le climat et la santé** en accompagnant la transition dans les mobilités, tout en garantissant la sécurité des usagers.

Ces enjeux sont intégrés dans une démarche générale d'écoconception des ouvrages souterrains.

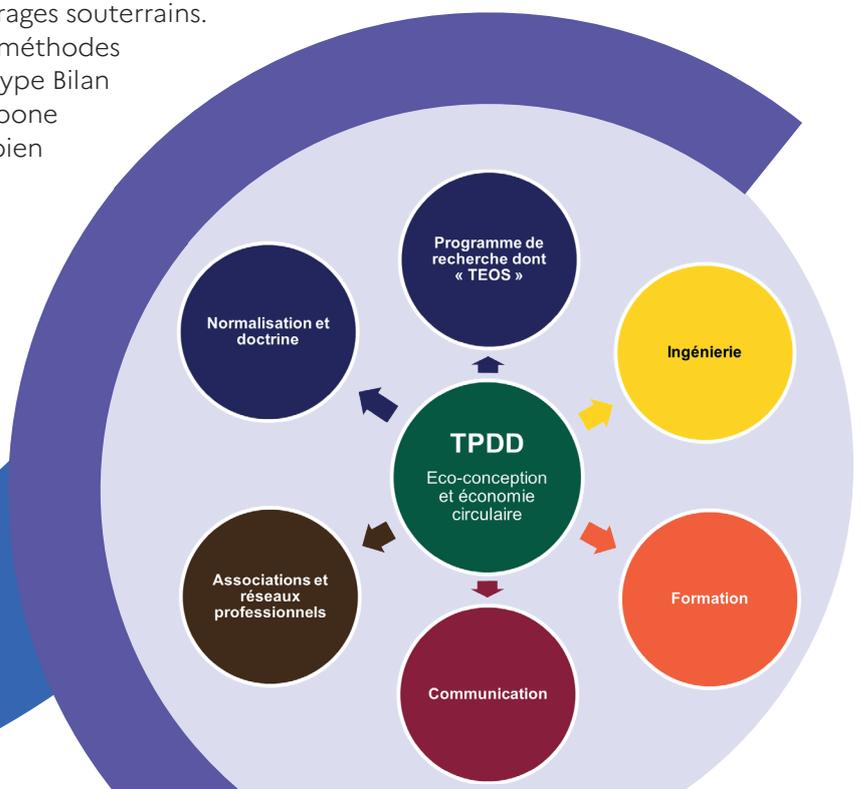
Les méthodes de type Bilan Carbone ou bien

Analyse du Cycle de Vie (ACV) constituent ainsi des outils permettant « d'écoconcevoir » un ouvrage (démarche itérative).

La Mission TPDD anime deux thématiques transversales au sein du CETU :

- **La gestion et la valorisation des matériaux excavés en travaux souterrains** (thématique transversale aux pôles Génie Civil) ;

*Les thématiques portées par la Mission TPDD et ses modes d'action*



• **L'écoconception des ouvrages souterrains et le développement de méthodologies et d'outils d'évaluation des impacts**

(thématique transversale à l'ensemble des pôles du CETU : Génie Civil et Équipements).

Afin de renforcer l'action de la Mission TPDD, un groupe Développement Durable, animé par la chargée de Mission TPDD, a été mis en place. Il rassemble un agent correspondant de chaque pôle technique du CETU et permet d'avoir une réflexion transversale sur la transition écologique.

Le nouvel axe de recherche stratégique du CETU « Transition écologique dans les ouvrages

souterrains (TEOS) » constitue le levier « recherche » de la Mission TPDD. Cet axe permet d'inscrire explicitement une partie des actions du CETU dans le cadre de la « transition écologique ». Il est décomposé en 4 actions de recherche et de doctrine :

- Bilan environnemental et écoconception des ouvrages souterrains ;
- Matériaux excavés issus des ouvrages souterrains et optimisation des ressources minérales ;
- Sobriété des équipements : optimisation des ressources et des consommations énergétiques ;

- Qualité de l'air et transition de la mobilité.

Ces actions de recherche, pour la plupart menées en partenariat avec la profession, permettront de progresser vers des pratiques plus durables dans le domaine des ouvrages souterrains.

Pour identifier nos actions en faveur de la transition écologique dans les pages qui suivent, suivez ce picto.



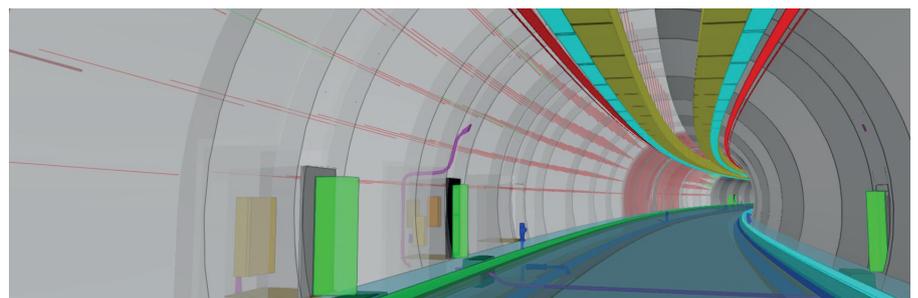
## FAVORISER LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

Le CETU reste engagé dans la transformation numérique dans les ouvrages souterrains et notamment dans la mise en œuvre du BIM (Building Information Modelling). Le BIM est une méthode de travail collaborative qui permet la coopération et la communication entre les acteurs de la construction en recourant aux technologies numériques.

Le BIM facilite la prise de décision notamment pour la maîtrise des coûts financiers et écologiques des projets d'infrastructures. Un travail important a été réalisé dans le cadre du projet national de recherche MINnD (Modélisation des informations interopérables

pour les infrastructures durables) et se poursuit dans le cadre du projet MINnD 2050. Le travail sur la production de formats neutres relatifs aux ouvrages souterrains sse poursuit au sein de buildingSMART International, sur la version 4.4 des Industry Foundation Classes (IFC).

En parallèle, le CETU est très impliqué dans le pilotage et la production du GT 45 de l'AFTEs sur les nouvelles technologies numériques en travaux souterrains dont la recommandation a été validée. Enfin, le CETU poursuit l'animation du WG22 de l'AITES sur la modélisation de l'information dans la construction des tunnels.



Exemple d'une maquette numérique BIM

# Quelques chiffres clés

**+50**  
ans d'expertise

**40**  
ouvrages accompagnés  
en moyenne par an

**+75**  
guides et documents  
techniques publiés

**17**  
docteurs

**24**  
experts reconnus  
par le ministère

**80**  
agents

# Nos missions

## Définir les règles de l'art

Élaborer le cadre réglementaire, normatif et technique applicable aux ouvrages souterrains, contribuer à l'évolution de la doctrine et veiller à sa diffusion et à sa bonne appropriation.

## Approfondir la connaissance

Faire progresser le savoir, les techniques et les méthodes, tout en répondant aux préoccupations concrètes de la communauté des tunnels.

## Animer les réseaux

Représenter l'État au sein de la communauté des tunnels, aider à fédérer les acteurs au niveau national et international, animer les échanges et former les professionnels.

## Accompagner les projets

Apporter un appui aux maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, exploitants et entreprises dans les projets de construction et de rénovation des tunnels.

## Accompagner la vie des ouvrages

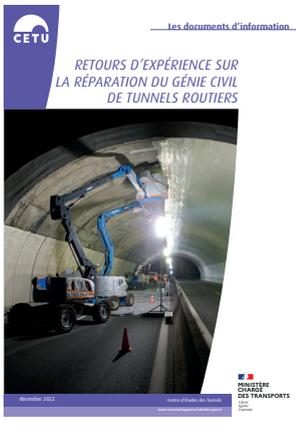
Participer à la bonne gestion du patrimoine des ouvrages souterrains et à leur exploitation en sécurité.

The background features a large green circle on the left and a white circle on the right, both partially cut off by the edges of the page. Overlapping these are several white curved lines of varying thickness, creating a dynamic, architectural feel.

# Définir les règles de l'art

Fort de son rôle institutionnel, mais aussi de son expérience d'accompagnement de projets, le CETU élabore le cadre réglementaire, normatif et technique applicable aux ouvrages souterrains. À l'écoute des attentes de la profession, il contribue à l'évolution de la doctrine et veille à sa diffusion et à sa bonne appropriation.

## GÉNIE CIVIL DES TUNNELS ROUTIERS : CAPITALISER LES RETOURS D'EXPÉRIENCE



Les enseignements tirés des travaux de réparation du génie civil des tunnels routiers sont nombreux. Afin de les partager avec la profession, le CETU a publié en 2023 un document d'information avec des retours d'expérience sous forme de « fiches chantier ».

Destiné aux maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et gestionnaires, ce document traite des tunnels routiers creusés par méthode conventionnelle et focalise tout particulièrement sur les traitements des venues d'eau qui constituent les travaux de réparation les plus courants en tunnels routiers. Il dresse le panorama des méthodes existantes et donne les principaux éléments de choix entre ces méthodes.

Le champ est ensuite élargi aux techniques de modifications du profil en travers et à des techniques de réparation mises en œuvre conjointement au traitement des venues d'eau. Il propose des éléments de choix entre les techniques d'alésage et de décaissement de chaussée, et attire l'attention sur les aspects nécessitant une vigilance particulière.

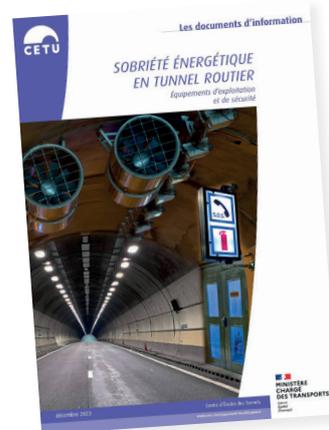
Enfin le document rappelle la démarche globale d'une opération de réparation et complète en cela le « Guide de l'inspection du génie civil des tunnels routiers du CETU ».

## Agir pour la sobriété énergétique en tunnel routier

Face à la nécessité de réduire la consommation énergétique, l'optimisation énergétique des tunnels routiers est essentielle.

En décembre 2023, le CETU a publié un document présentant des mesures pour renforcer l'efficacité énergétique de ces infrastructures de transport.

Le document s'adresse principalement aux exploitants de tunnels routiers, mais il peut également servir de référence aux maîtres d'ouvrage et bureaux d'études chargés de la conception de tunnels neufs ou de l'étude d'opérations de gros entretiens-renouvellements des équipements. Il propose une liste de mesures de réduction de la consommation énergétique pour l'éclairage et la ventilation, mais aussi des pistes de réduction pour d'autres équipements dont la consommation n'est pas négligeable.



L'objectif est de donner aux exploitants les moyens d'engager à court terme des actions permettant de minimiser l'impact environnemental de l'exploitation des tunnels, tout en leur faisant réaliser des économies, à niveaux de sécurité et de fonctionnalités équivalents.

## Estimer le prix des équipements

Le fascicule 5 sur le prix des équipements d'exploitation et de sécurité des tunnels routiers complète les quatre autres fascicules qui constituent le document d'information sur le prix des tunnels routiers. Ce nouveau fascicule, basé sur un retour d'expérience d'ouvrages existants, permet d'évaluer le prix moyen par famille d'équipements (hors ventilation et métallerie) au stade des études préliminaires d'un tunnel neuf ou en rénovation.





# PIARC : la fin d'un cycle très productif !

Pour son cycle 2020-2023, le Comité « Exploitation des tunnels routiers » de PIARC a focalisé ses travaux sur des enjeux qui émergent dans un contexte de transition écologique et d'évolutions technologiques. Menés avec une forte contribution du CETU et en cohérence avec les préoccupations de ce dernier, les travaux de PIARC permettent d'enrichir la doctrine technique internationale.



L'impact des technologies de propulsion alternatives des véhicules routiers sur l'exploitation et la sécurité des tunnels suscite de plus en plus d'interrogations de la part de maîtres d'ouvrage, exploitants et services de secours. En cas d'incendie impliquant ces véhicules, les conséquences sur les usagers ainsi que sur la structure et les

**« Menés avec une forte contribution du CETU et en cohérence avec les préoccupations de ce dernier, les travaux de PIARC permettent d'enrichir la doctrine technique internationale. »**

équipements du tunnel sont quelques-unes des considérations spécifiques qui doivent être prises en compte.

Le Comité tunnels de PIARC a publié en 2023 un rapport technique sur ce sujet, suite à une revue bibliographique de 2022. Le CETU a été l'un des principaux rédacteurs de ce rapport qui résume les connaissances actuelles sur les caractéristiques et méthodes de lutte contre les incendies impliquant ces nouveaux modes de propulsion. Le rapport précise les possibles



impacts sur l'infrastructure et fournit quelques recommandations aux décideurs. Un document d'information CETU sur cette même thématique (parution début 2024) complète les connaissances actuelles dans ce domaine.

La résilience des tunnels est une préoccupation croissante des parties prenantes, dans un monde où émergent de nouveaux risques : aléas climatiques, menaces de malveillance y compris de cybersécurité, risques liés aux évolutions de la demande de trafic dans son volume et sa nature, défaillance des mesures de sécurité technique ou opérationnelle, etc. Le Comité tunnels de PIARC a publié en 2023 une « feuille de route » pour améliorer la résilience des tunnels routiers, qui synthétise l'analyse bibliographique et les études de cas déjà

## Un prix pour le meilleur article !

À l'occasion du Congrès Mondial de la Route à Prague en octobre 2023, PIARC UK a décerné le prix de « meilleur article dans la catégorie sécurité routière » à un article sur la prise en compte des pelotons de poids lourds

dans l'exploitation en sécurité des tunnels, corédigé par Ali Mahdmina (4way consulting), Franziska Schmidt (Université Gustave Eiffel), Hélène Mongeot et Antoine Mos (CETU).



# 7

**publications**  
du Comité Tunnels  
PIARC pendant  
le cycle 2020-2023

réalisées. Ce rapport technique, auquel le CETU a contribué, fournit également des recommandations à l'intention de la profession. L'entretien et l'exploitation des tunnels routiers urbains à forte circulation constituent des défis importants, tout comme les travaux de rénovation, car il s'agit de garantir la sécurité du tunnel et la fluidité du trafic, tout en limitant les nuisances. Des réponses peuvent être apportées pour les réaliser sous exploitation, sur la base d'un plan d'entretien élaboré le plus tôt possible, ou d'un phasage adapté des travaux défini suffisamment tôt. Le CETU a contribué aux travaux de PIARC sur ces questions, qui ont mené à la publication d'un rapport technique sur les bonnes pratiques à mettre en œuvre en termes de conception initiale, gestion du trafic, entretien, gestion des incidents, gestion de la communication et réduction des nuisances de ces tunnels urbains à fort trafic.

Le Comité tunnels de PIARC a également travaillé sur les apports/risques des systèmes de transport intelligents dans les tunnels routiers. Ce domaine est une des préoccupations majeures du CETU, qui a notamment contribué aux réflexions PIARC sur la circulation de pelotons de poids lourds dans les tunnels (voir encadré).



Pour voir l'ensemble des rapports techniques du Comité, flashez ce QR code.

Le cycle 2024-2027 du Comité tunnels de PIARC abordera des sujets tels que les nouvelles approches pour une exploitation durable des tunnels routiers, l'impact des modes actifs, l'usage

d'outils numériques (BIM, nouveaux outils d'inspections...) et poursuivra ses réflexions sur les nouveaux modes de propulsion. En plus de participer aux travaux du Comité et d'en assurer le secrétariat francophone, le CETU maintiendra une forte présence dans les quatre groupes de travail, soit en tant que pilote, copilote ou membre actif. Ces travaux permettent de faire rayonner le savoir-faire français et de contribuer à l'élaboration de la doctrine technique internationale.



## Ingo Kaundinya

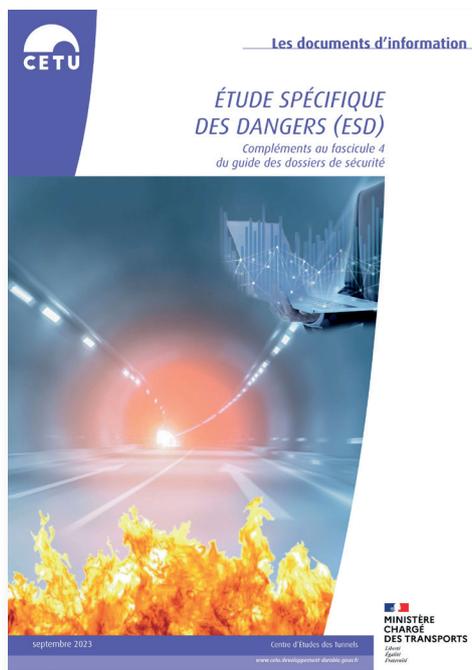
Président du Comité « Exploitation des tunnels routiers » de PIARC

**« Je garde le souvenir d'un cycle de travail PIARC 2020-2023 très réussi, au cours duquel le CETU, avec une forte implication, a apporté un soutien remarquable aux différentes activités du comité. Ainsi, des experts du CETU ont contribué de manière décisive aux rapports techniques, ont dirigé des groupes de travail, ont organisé des événements intéressants et m'ont soutenu dans la direction du comité. Un grand merci pour ce formidable engagement ! »**

# HARMONISER ET AMÉLIORER LES ÉTUDES SPÉCIFIQUES DES DANGERS

**Le fascicule 4 du guide des dossiers de sécurité présente le rôle de l'Étude Spécifique des Dangers (ESD) dans le dossier de sécurité et explique son contenu ainsi que sa méthodologie d'élaboration.**

Le CETU est amené à analyser annuellement un certain nombre d'ESD dans le cadre de ses missions auprès de maîtres d'ouvrage. Il échange régulièrement sur leur contenu avec les bureaux d'études spécialisés et les experts de la Commission Nationale d'Évaluation de la Sécurité des Ouvrages Routiers (CNESOR).



Ce retour d'expérience a conduit le CETU à proposer des améliorations des pratiques sous la forme d'un nouveau document d'information, publié en 2023. Réalisé en concertation avec les bureaux d'études et experts, ce document a pour objectif de préciser et compléter les informations du fascicule 4.

Il vise notamment à harmoniser et améliorer la mise en œuvre des ESD et en particulier contribuer à mieux définir les hypothèses à prendre en compte dans ces études.

## DES JOURNÉES TECHNIQUES POUR CONSTRUIRE ET DIFFUSER LA DOCTRINE

Rassembler et concerter la profession permet de construire et diffuser une doctrine technique adaptée aux besoins. C'est dans cette optique que le CETU a organisé deux journées techniques en 2023.

La première a notamment permis de solliciter la profession sur leurs attentes concernant l'évolution du document d'information CETU relatif à la détection automatique d'incidents par analyse d'images.

La deuxième a permis d'échanger sur les enjeux techniques et réglementaires de la gestion des matériaux excavés et permettra d'alimenter une future publication CETU sur la transition écologique en ouvrages souterrains.

*Journée technique sur la gestion des matériaux excavés, en novembre 2023*



# MAIS AUSSI...

## La rédaction des Actes du GTFE

sur la communication avec les usagers, la gestion du patrimoine et les interactions entre les exploitants et les services de secours, suite aux trois rencontres GTFE sur ces thématiques. Ces Actes paraîtront en 2024.

## La contribution du CETU à l'élaboration de la réglementation

concernant les transports guidés urbains en souterrain, le Réseau Radio du Futur (RRF) et les nuisances générées par les vibrations pendant la réalisation ou l'utilisation des infrastructures de transport ferroviaire.

## La participation à l'élaboration du projet de norme EN 50545-2

sur les capteurs atmosphériques et visibilité. Cette norme imposera des critères techniques propres aux exigences de l'exploitation des tunnels routiers.

## La forte contribution du CETU au document de l'IDDRIMM

*Utilisation de la télé-inspection pour la surveillance des ouvrages de génie civil* publiée en avril 2023.

## La production d'une vidéo incitant les usagers

à respecter les distances de sécurité en tunnel à l'aide des plots bleus. Ce support s'intègre dans la série de films « Conduire en tunnel », destinée au grand public.

*Extrait du film sur les distances de sécurité, de la série « Conduire en tunnel »*



## Deux nouvelles recommandations AFTES portées par le CETU

**A**vant le congrès international de l'AFTES en octobre 2023, deux groupes de travail animés par le CETU ont réussi à finaliser leur recommandation.

La première a été réalisée en collaboration avec l'ASQUAPRO et traite des bétons projetés par voie mouillée pour une application définitive en ouvrage souterrain. Elle vise spécifiquement les maîtres d'œuvre devant prescrire/contrôler la mise en œuvre de béton projeté par voie mouillée robotisée. Outre des informations détaillées sur cette technique, elle leur fournit des clauses de CCTP adaptables à chaque chantier.

La seconde concerne les tunnels creusés ou forés et tranchées couvertes soumis, ou non, à une pression hydrostatique. Elle redéfinit les caractéristiques physico-mécaniques et hydrauliques des écrans de protection des procédés d'étanchéité et géosynthétiques de drainage selon leur emploi et le procédé d'étanchéité spécifié en extrados.

Cette recommandation s'adresse aux bureaux d'études devant spécifier ces produits.

# Approfondir la connaissance

Constituant une part importante des activités du CETU, la recherche et la production de connaissance reposent sur une confrontation permanente entre R & D et retours d'expérience.

L'objectif : faire progresser les techniques et les méthodes, contribuer à l'innovation et répondre aux préoccupations concrètes de la profession.

# ACCOMPAGNER LE DÉVELOPPEMENT DES MODES ACTIFS EN TUNNEL



**D**epuis quelques années, les grandes métropoles souhaitent développer les modes de déplacement « actifs » que sont la marche et le vélo. En rase campagne, des efforts sont également faits pour développer l'usage du vélo, alors que l'immense majorité des tunnels routiers existants n'a pas été conçue pour piétons et cyclistes.

À ce jour, il n'existe pas de guides ou de recommandations sur les aménagements dédiés à ces modes dans les tunnels existants et le CETU est de plus en plus souvent sollicité sur ce sujet.

Face à ces sollicitations, de nombreuses questions restent en suspens telles que l'intégration de ces modes dans les analyses de risque, le partage de la voirie, les équipements et les modalités d'exploitation spécifiques. Ainsi, le CETU a décidé de créer un axe stratégique de recherche centré sur cette thématique.

L'enjeu est d'accompagner le développement de l'ensemble des mobilités douces et actives en rendant possible leur passage en sécurité dans les tunnels routiers.



En parallèle, le CETU copilotera, lors du cycle de travail PIARC 2024-2027, un groupe de travail sur l'impact du développement des modes de transport dits « actifs » dans les tunnels routiers, particulièrement en milieu urbain.

## Assurer la cybersécurité des tunnels, un enjeu stratégique

Les organisations font actuellement face à une hausse importante de la cybercriminalité. De plus en plus présentes dans notre quotidien, les cybermenaces n'épargnent pas les tunnels.

Après avoir réalisé une étude prospective qui a permis d'identifier les enjeux et objectifs propres aux tunnels routiers, le CETU poursuit la démarche avec pour objectif la rédaction d'un document d'information sur les « Bonnes pratiques de cybersécurité en tunnel routier », destiné principalement aux exploitants de tunnels.

Pour cela, un groupe de travail a été constitué en associant le Cerema et des exploitants de tunnels pour leur pratique au quotidien de la sécurité, leur connaissance des contraintes propres à l'exploitation et leur expérience en matière de cybersécurité. La DIR Massif Central a pu partager son retour d'expérience sur son premier exercice cyber en tunnel. L'ANSSI est également associée à la démarche.

La première réunion du groupe de travail s'est tenue fin décembre au CETU avec de premiers échanges riches et passionnants qui confirment que ce sujet est stratégique pour la sécurité des tunnels routiers.

## Vibrations induites par les tunneliers

Les recherches visant à quantifier les vibrations induites par les tunneliers, menées en collaboration avec l'ENTPE dans le cadre du projet ANR E-Pilot, se sont poursuivies en 2023. Des mesures intégrant des géophones dans le terrain, au plus près de la roue de coupe du tunnelier, ont été réalisées sur la ligne 18 du Grand Paris Express. Des modélisations numériques dédiées sont également en cours dans le cadre d'un doctorat ENTPE/GDS-Géodynamique et Structures.

**E-PILOT**





# Des risques et des procédés mieux maîtrisés !

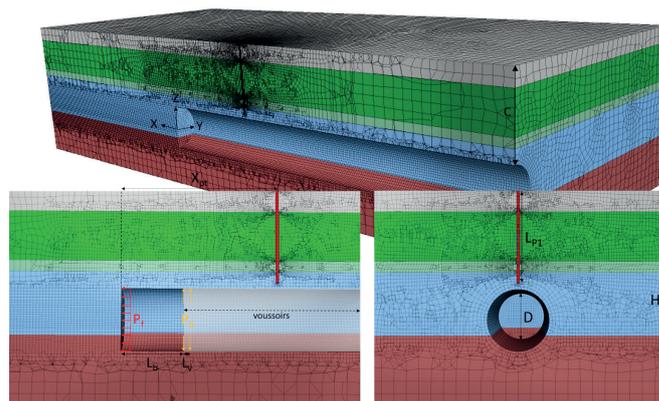
Dans le domaine de la construction des ouvrages souterrains, il existe une forte attente de la profession pour une meilleure maîtrise des risques, que ce soit en matière de sécurité, de coûts ou de délais. Pour répondre à cet enjeu, le CETU a mené des actions de recherche au cours de ces cinq dernières années et en a dressé un bilan en 2023 devant une commission d'évaluation indépendante.

Les réflexions ont tout d'abord concerné la démarche générale de conduite des études de tunnel en phase amont. Elles ont permis la finalisation du document d'information sur les prix des tunnels, avec un nouveau fascicule dédié aux prix des équipements de sécurité et d'exploitation. Un guide plus général, à destination des maîtres d'ouvrages, sera également publié prochainement.

Afin de mieux circonscrire les incertitudes géotechniques à l'aide des reconnaissances, un guide explicitant la méthodologie et les apports des levés de terrain a été publié. Un second, présentant de manière condensée la démarche de management des risques, est en cours de finalisation.

Les tunnels urbains à faible profondeur, tels le Grand Paris Express, EOLE ou le métro de Toulouse, soulèvent des enjeux aigus au regard de la limitation des tassements et de leur impact sur les constructions avoisinantes. Différentes actions ont été menées sur ce thème au CETU, dont le projet de recherche TULIP (TUNneliers et Limitation des Impacts sur des Pieux) mené en collaboration avec l'ENTPE, la Société du Grand Paris et l'Université Gustave Eiffel. Ce projet est fondé sur une expérimentation en vraie grandeur avec trois pieux de 50 cm de diamètre réalisés dans

la zone d'influence d'un tunnelier de la ligne 16 du Grand Paris Express. Deux thèses de doctorat ont été soutenues en 2022 et 2023 sur ce sujet et un exercice de prévision de la réponse des pieux a été organisé.



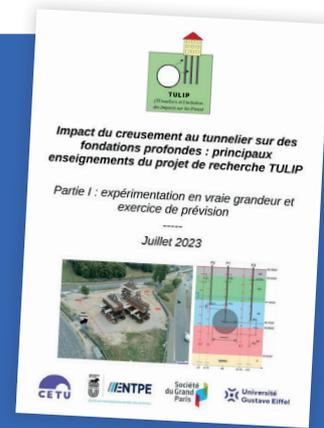
Modèle numérique 3D, réalisé dans le cadre de la thèse d'A. Michalski

Le creusement à faible profondeur peut également induire des vibrations potentiellement sources de dommages aux constructions avoisinantes et de gêne aux riverains. Plusieurs campagnes de mesures dynamiques ont ainsi été menées, dont une sur la ligne 18 du Grand Paris Express en 2023.

## Publication partielle du rapport de synthèse du projet TULIP

Ce rapport dresse la synthèse des principaux enseignements issus de l'expérimentation en vraie grandeur et de l'exercice de prévision, réalisés entre 2019 et 2023 et visant à améliorer la compréhension de l'impact

du creusement au tunnelier sur des fondations profondes. Une deuxième partie relative aux développements numériques menés au CETU, à l'ENTPE et à l'Université Gustave Eiffel sera publiée dans un second temps.



Rapport de synthèse du projet TULIP



Capteurs utilisés pour les mesures de vibrations

Quant aux tunnels profonds, ils peuvent être sujets, dès la construction, à des convergences importantes et anisotropes, et qui évoluent au cours du temps. Les deux thèses réalisées en 2019 et 2020, en collaboration avec le laboratoire Navier de l'École des Ponts et Chaussées, ont permis de mieux interpréter le comportement observé in situ et de proposer des outils de dimensionnement spécifiques.

Enfin, des réflexions ont été menées sur la contractualisation des risques, concrétisées par la mise à jour du guide d'application du fascicule 69 du CCTG Travaux. Une comparaison des pratiques contractuelles françaises avec les pratiques internationales a également été conduite, ainsi qu'une forte

# 60

## publications

sur la période 2018-2023, dont 5 guides et documents d'information, 4 thèses et 15 articles dans des revues scientifiques internationales.

contribution à l'observatoire des pratiques contractuelles mis en place par l'AFTES. Ce dernier vise à tirer un retour d'expérience partagé en France par les acteurs des projets récents en matière de contractualisation des risques.

Des progrès significatifs ont ainsi été réalisés au cours des dernières années, dégagant de nouvelles pistes de réflexion pour des risques et des procédés de construction maîtrisés.



## Georges Borot

Directeur Sécurité-Sûreté-Audit, SFTRF, membre du conseil scientifique du CETU

« L'ensemble des membres de la commission d'évaluation souligne la haute qualité du travail fourni par l'équipe du CETU dans le cadre de son axe de recherche "Management des risques et maîtrise des procédés" entre 2018 et 2023, avec un champ d'action étendu, de la recherche théorique jusqu'à l'application terrain. »

# COMPRENDRE ET ACCOMPAGNER LES ÉNERGIES ALTERNATIVES DE PROPULSION EN TUNNEL



**Les véhicules propulsés par des énergies alternatives contribuent à lutter contre le réchauffement climatique et la pollution de l'air. Leur part dans le trafic est en forte augmentation, impulsée par des incitations financières et un cadrage réglementaire (transports en commun).**

Des phénomènes spécifiques à ces énergies peuvent présenter un danger particulier en milieu souterrain, pour les usagers et les services de secours.

Des études réalisées par le CETU, conjointement avec l'INERIS, puis dans le cadre de collaborations avec la communauté technique (PIARC notamment) ont permis de mieux cerner les caractéristiques techniques des véhicules et les phénomènes dangereux.



L'axe de recherche initié en 2022 entend prolonger ces études et poursuit deux objectifs :

- améliorer la compréhension des technologies, des phénomènes dangereux et des moyens de mitigation techniques externes aux véhicules ;

- indiquer comment prendre en compte ces véhicules particuliers dans la gestion de la sécurité.

Les investigations se concentrent d'abord sur les tunnels, notamment routiers. Lorsque les connaissances seront suffisamment confortées, elles seront adaptées à d'autres types de milieu souterrain.

## UNE SOLUTION INNOVANTE D'INSPECTION À L'ESSAI

Dans le cadre du Comité d'Innovation Routes et Rues 2021, le CETU et le Cerema évaluent la solution IDNT@V2 de Setec-Diadès et le mode opératoire associé, au regard des objectifs de l'inspection détaillée périodique définis par l'ITSEOA. IDNT@V2 combine la photographie couleur, la thermographie infrarouge et la profilométrie laser pour la détection des désordres sur le revêtement du tunnel.

Trois essais ont déjà été réalisés avec ATMB, la DIR Massif Central et la DIR Centre Est. Ceux-ci ont notamment permis au CETU de formaliser un cahier des charges type à destination des gestionnaires.

*Solution IDNT testée dans le tunnel de Vuache*



# MAIS AUSSI...

**La publication d'une thèse, co-encadré par le CETU, sur « La modélisation numérique du comportement des bétons de fibres métalliques sous des sollicitations multiaxiales, tenant compte de l'effet de l'orientation des fibres : application aux voussoirs de tunnel ».**

**Le lancement de travaux de thèse sur l'évaluation des impacts environnementaux du creusement au tunnelier des ouvrages souterrains par l'analyse du cycle de vie.**

**La poursuite des travaux** autour de la modélisation du comportement aérodynamique des tunnels avec notamment le développement d'une nouvelle version du logiciel CAMATT.

**Le démarrage du projet SOLACe dédié à la sécurisation des obstacles latéraux par atténuateurs de choc, qui se situe dans le prolongement des études lancées suite au terrible accident dans le tunnel de Sierre en 2012.**

*Exemple d'obstacles latéraux en tunnel*



## Systemes de Gestion de la Sécurité (SGS) : un bilan très positif !

**D**epuis 2017, le CETU accompagne la mise en œuvre de systèmes de gestion de la sécurité des tunnels routiers en priorité chez les DIR et plus récemment, chez d'autres exploitants. Ce travail a été conduit dans le cadre de l'axe de recherche « Construire et faire vivre un système de gestion de la sécurité en tunnel routier », évalué le 30 juin 2023.

Les sept membres de la commission d'évaluation, dont J.R. Gely, Directeur adjoint des Mobilités Routières à la DGITM, ont salué la qualité des travaux réalisés, les excellents résultats obtenus et l'efficacité de la démarche novatrice et volontariste conduite avec les DIR.

Au-delà de la poursuite des actions d'accompagnement des acteurs et de présentation de la démarche aux niveaux national et international, l'année 2024 verra la publication d'un guide méthodologique consacré aux SGS et la tenue d'une journée technique.

# Animer les réseaux

Représentant de l'État au sein de la communauté des tunnels, le CETU aide à fédérer les acteurs au niveau national et international. Il anime les échanges, forme les professionnels, met son expérience et ses compétences à la disposition de ses partenaires et contribue activement à la production technique des réseaux.



# Adapter les tunnels aux évolutions technologiques des véhicules

**D**epuis plusieurs années, le CETU effectue une veille sur les systèmes de transports intelligents (ITS) et les véhicules automatisés afin de comprendre leurs impacts potentiels sur l'exploitation des tunnels routiers.

Les avancées technologiques et réglementaires étant importantes, le CETU a lancé une étude avec l'objectif de répondre à deux questions :

- quelles devront être les adaptations à l'infrastructure / l'organisation de l'exploitation pour permettre la circulation en toute sécurité des

véhicules automatisés ?

- quelles améliorations à l'exploitation pourront permettre ces véhicules ?

Les principes de cette étude ont été présentés lors du congrès ATEC ITS en janvier 2023. L'étude est centrée sur les tunnels de plus de 300 mètres avec un niveau de surveillance D3 ou D4. L'horizon temporel pris en compte est de 15 à 25 ans, ce qui correspond à la fois à un cycle de renouvellement des équipements et à un taux de pénétration dans le parc d'environ 20% de véhicules de niveau 3 d'automatisation.



L'étude permettra au CETU d'élaborer des recommandations en termes d'équipements à installer et de se rapprocher de la communauté ITS pour la bonne prise en compte des spécificités des tunnels.

## Le CETU à la pointe de l'innovation en souterrain



Le CETU était parmi les exposants du premier Forum de l'Agence de l'Innovation pour les Transports (AIT), qui s'est tenu les 7 et 8 février à Paris.

Les visiteurs ont pu découvrir quelques travaux innovants, pilotés ou accompagnés par le CETU et qui favorisent la transition écologique et/ou la transformation numérique en souterrain :

- Delta (démonstrateur d'éclairage LED du tunnel d'Antony), un site expérimental qui permettra au CETU de consolider sa doctrine sur l'éclairage LED et aux exploitants de tester des pistes d'économie d'énergie ;
- le projet Borée (site expérimental à Marseille qui teste la dilution des polluants d'un tunnel avant leur rejet à l'extérieur, grâce à un pilotage innovant de la ventilation) ;
  - les nouvelles techniques numériques d'inspection à grand rendement ;
  - les travaux sur le BIM (Building Information Modelling) appliqués aux tunnels.

Le CETU explore d'autres domaines d'innovation : les voussoirs fibrés, les outils d'aide à l'inspection des équipements, le potentiel géothermique des tunnels ou encore les systèmes de transport intelligents, dont les véhicules autonomes et connectés.

*Le stand CETU lors du Forum AIT*



## Le CETU, membre actif du PoCES

À l'occasion des 5 ans du PoCES (Pôle de Compétences en Environnement Souterrain), le CETU a été invité à présenter sa vision de « La transition écologique dans les ouvrages souterrains », lors d'un événement organisé le 6 avril 2023 à Paris.





L'ouverture du congrès par la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et des Mobilités du Ministère



# Congrès international de l'AFTES : une forte implication du CETU

Le congrès international de l'AFTES, qui s'est déroulé à Paris en octobre 2023, avait pour thème le souterrain au cœur des transitions. Le CETU était impliqué aussi bien dans l'organisation que dans les sessions techniques du congrès.

L'ensemble de la profession a eu le plaisir de se retrouver lors de cet événement, qui s'est tenu du 2 au 4 octobre 2023 à Paris, lieu choisi en raison des nombreux chantiers du Grand Paris Express.

Le congrès était l'occasion de promouvoir le savoir-faire de la communauté technique française des ouvrages souterrains. Il a rassemblé plus de 3 000 visiteurs différents sur l'ensemble des 3 jours, et se hisse au niveau du précédent congrès de 2021.

**« Le congrès de l'AFTES est l'occasion de promouvoir le savoir-faire de la communauté technique française des ouvrages souterrains »**

lors de la restitution des travaux de l'observatoire des pratiques contractuelles, dont il a été un acteur

Le CETU a fortement contribué à l'organisation et à l'animation de ce congrès.

Au sein de la commission scientifique, il était chargé d'examiner les propositions d'articles et a présidé plusieurs séances techniques. Présent



Les participants du CETU au congrès international de l'AFTES

prépondérant, le CETU a aussi participé à deux sessions organisées par le Comité Éducation pour présenter les enjeux et les principaux acteurs dans la construction des tunnels.

Lors des sessions techniques, le CETU a présenté plusieurs communications sur ses travaux en propre ou ceux qu'il anime au sein de l'AFTES. Les sujets suivants ont notamment été abordés :

- l'usage optimisé des bétons projetés ;
- un retour d'expérience concernant la construction du modèle géologique du tunnel d'Oloron ;
- l'analyse de cycle de vie (ACV) en tunnel et l'écoconception ;

## Un concours photo piloté par le CETU

En marge du congrès, un concours photo sur le thème « Place des compagnons, hommes et femmes, dans un monde de travaux souterrains en mutation » a été organisé. Gratuit et ouvert à tous, ce concours avait pour objectif d'illustrer le rôle essentiel des hommes et des femmes compagnons sans qui la

réussite des chantiers ne serait possible. Quarante-cinq clichés issus de quarante photographes ont été soumis. Après une sélection difficile, le jury a décerné le premier prix de ce concours à Rémi Flament pour son magnifique cliché intitulé : « Le sous-sol, projet d'avenir pour l'homme qui le valorise et l'industrialise ».



Photo gagnante de Rémi Flament

- les premiers résultats relatifs à l'ACV du creusement au tunnelier ;
- les résultats de l'expérimentation TULIP sur l'interaction tunnelier / terrain / pieux ;
- un retour d'expérience relatif à la logistique du creusement du 2<sup>e</sup> tube du tunnel du Fréjus ;
- les expérimentations menées au CETU sur l'utilisation du BIM aussi bien sur les aspects génie civil qu'équipements.

# 7

### articles

ont été présentés par le CETU dans les sessions techniques du congrès

Des sujets ont également été présentés dans des sessions posters :

- des réflexions autour du calcul de la provision pour risques identifiés ;
- le contexte normatif pour le réemploi des matériaux excavés en granulats pour béton ;
- les spécificités de la conduite des études amont de tunnels ;
- la traçabilité des terres excavées, valorisation sous statut de déchets et sans statut de déchets.

Quant au stand CETU, il a été un point de rassemblement et d'échanges durant les trois jours du congrès.

La contribution globale du CETU à l'AFTES en 2023 ne se résume pas à sa participation au congrès. Le CETU poursuit son implication dans le conseil d'administration de l'AFTES et reste impliqué dans 16 groupes de travail de l'association, animant 8 d'entre eux. Ces groupes de travail abordent des sujets très divers, représentant des intérêts variés.

Le CETU est également impliqué dans la publication de la revue Tunnels et Espace Souterrain en participant au comité de rédaction.

Enfin, lors du mardi de l'AFTES du 26 septembre 2023, le CETU a présenté la nouvelle recommandation du GT 45 relative au BIM en travaux souterrains.



## Michel Deffayet

Ex-président de l'AFTES et ancien directeur du CETU

**« Le CETU et l'AFTES ont une très longue histoire commune et ce lien a toujours été essentiel, 50 ans durant, pour animer la communauté professionnelle des travaux souterrains et établir une doctrine technique qui fait référence partout dans le monde. C'est là un exemple vraiment unique et exemplaire d'une collaboration public/privé très productive. »**

# Une participation active du CETU au congrès mondial de l'AITES



L'édition 2023 du congrès mondial des tunnels s'est tenue à Athènes du 12 au 18 mai 2023 avec une participation active du CETU. Ce dernier a présidé deux sessions techniques, « Innovation, Robotics and Automation » et « Safety, Risks and Operation of Underground Infrastructure », avec plusieurs interventions sur la transition écologique dans les ouvrages souterrains, les inspections de génie civil et le Building Information Modelling (BIM). Le CETU a également présenté un poster sur les matériaux excavés.

Les différents Comités et Working Groups de l'Association Internationale des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AITES) se sont réunis pendant le congrès pour faire leur bilan annuel et les perspectives pour l'année



Une partie de la délégation française à l'Assemblée Générale

à venir. Ce fut notamment le cas du Comité Technique ITA COSUF sur la sécurité en exploitation des ouvrages souterrains, présidé par le CETU, et le Comité ITA-CET pour lequel le CETU assure le secrétariat administratif, qui a co-organisé avec la Fondation ITACET une formation de deux

jours dans le cadre du congrès. En ce qui concerne les Working Groups, le CETU assure le rôle d'animateur du WG22 sur le BIM et de vice-animatrice du WG6 dédié à la maintenance et la réparation. Il participe également au WG21 consacré à la gestion du cycle de vie du patrimoine.

## UNE FORTE PRÉSENCE DU CETU DANS LES COMITÉS DE SÉCURITÉ

Le CETU reste très impliqué dans les comités de sécurité des grands tunnels routiers transfrontaliers. Il est membre du comité du tunnel franco-espagnol du Somport et participe aux groupes de travail du comité de sécurité du tunnel franco-italien de Tende.

Le CETU assure également le secrétariat technique et fournit des experts techniques (tunnels du Mont-Blanc et du Fréjus). Le CETU intervient aussi dans des tunnels ferroviaires, participant au comité de sécurité du tunnel sous la Manche ainsi qu'à celui de la liaison Lyon-Turin qui comprend l'ouvrage historique du Mont-Cenis et le futur tunnel de base.

Tunnel du Somport



# MAIS AUSSI...

La participation à 8 réunions de la Commission Nationale d'Évaluation de la Sécurité des Ouvrages Routiers (CNESOR), dont le CETU assure le secrétariat technique. En 2023, 14 dossiers ont été examinés.

L'organisation par le CETU de deux sessions de formation sur la sécurité et l'exploitation des tunnels routiers. Cette formation a pour objectif d'aider l'ensemble des acteurs à mieux comprendre le contexte général de la sécurité applicable aux tunnels routiers et à s'approprier la démarche de sécurité.

La poursuite de la collaboration entre le CETU et Ponts Formation Conseil, dans le cadre de la convention signée en 2022. Plusieurs agents du CETU sont intervenus dans des modules de formation concernant les ouvrages souterrains.

Deux interventions du CETU lors d'évènements consacrés au BIM : la première lors du salon annuel BIM World, qui s'est tenu à Paris en avril 2023 et la deuxième lors d'un atelier international sur le « numérique au service de l'exploitation et de la maintenance des infrastructures souterraines », organisé par ITA COSUF à Hambourg en décembre 2023.

*Intervention du CETU au salon BIM World*



## Le comité Tunnels de PIARC prend de la hauteur..

Le CETU est intervenu lors d'un séminaire international sur « Les avancées en conception, construction et exploitation des tunnels », organisé par le Comité tunnels de PIARC au pied de l'Himalaya en Inde au mois d'avril.

De nombreux experts de PIARC ont participé à ce séminaire rassemblant plus de 400 participants. Le CETU a notamment animé la session technique consacrée à la sécurité dans les tunnels et présenté deux exposés. Le premier a traité les dispositions d'auto-évacuation et la prise en compte des personnes à mobilité réduite (PMR), alors que le deuxième portait sur l'approche innovante des systèmes de gestion de la sécurité (SGS) pour l'exploitation en sécurité des tunnels routiers. Enfin, lors de la session de clôture, une allocution a été prononcée par le président du Comité ITA COSUF de l'AITES, également Directeur délégué du CETU.

# Accompagner les projets

S'appuyant sur ses compétences pluridisciplinaires en ingénierie, le CETU intervient sur des projets de construction et de rénovation des tunnels. Il assiste les autorités dans leurs décisions et apporte un appui aux maîtres d'ouvrage, exploitants, maîtres d'œuvre et entreprises.



# Un appui institutionnel sur le futur collisionneur circulaire du CERN

**L**e CETU intervient en tant qu'expert auprès de l'État français dans le cadre du Future Circular Collider, une nouvelle installation souterraine dédiée à la recherche en physique des particules. Un comité interministériel a été mis en place afin d'examiner les études de faisabilité portées par le CERN, dont un rapport « mi-parcours », établi en 2023.

Pour répondre aux interrogations de ce comité, le CETU a été sollicité par le Préfet de Région Auvergne-Rhône-Alpes, sur le scénario d'implantation et les procédures de mise en œuvre avec les États hôtes, Suisse et France. Le Commissaire Général au Développement Durable du Ministère de la Transition Écologique a également fait appel au CETU sur le génie civil des

parties souterraines de l'infrastructure.

Le CETU a ainsi participé à cadrer les attendus en vue d'établir la faisabilité technique et économique et de garantir l'acceptabilité sociétale et environnementale de ce projet d'envergure internationale.

Les thèmes suivants ont été précisés : processus de management des risques, méthodes constructives et phasage des travaux, logistique et gestion des matériaux excavés, régime foncier du tréfonds, coût prévisionnel du génie civil de l'infrastructure souterraine.



Collisionneur existant

Le CETU intervient aussi dans le cadre du projet européen de recherche FCC-Innovation Study, dont les conclusions sont attendues en 2025.

## Cigéo : deux nouvelles expertises à grande profondeur

Le CETU accompagne l'Andra depuis 2017 pour la conception du projet de stockage des déchets nucléaires en couche géologique profonde sur des thèmes spécifiques aux ouvrages souterrains.

En 2023, deux nouvelles missions d'expertise ont été initiées via un accord-cadre, avec les experts indépendants du comité technique souterrain agissant en appui de l'Andra :

- l'optimisation du planning de réalisation des ouvrages souterrains de la première tranche de Cigéo,
- la ventilation en exploitation normale et le désenfumage des futurs quartiers de stockage des déchets nucléaires de haute activité.

Laboratoire de recherche souterrain de l'Andra





# Une nouvelle étape pour la traversée souterraine de Marseille

Déclarée d'utilité publique en 2022 dans le cadre du projet de Ligne Nouvelle Provence Côte d'Azur (LNPCA), la traversée ferroviaire de Marseille en souterrain entre dans une phase de conception opérationnelle avec le démarrage des études d'avant-projet en 2024.

**D**estiné en priorité à améliorer les transports du quotidien, le projet LNPCA permettra la mise en œuvre de 3 RER métropolitains autour des aires urbaines d'Aix-Marseille, de Toulon et de Nice et Côte d'Azur.

Plus particulièrement, la Traversée Souterraine de Marseille (TSM), section la plus emblématique du projet, vise notamment à supprimer

**« Mobilisé auprès de SNCF Réseau depuis plus de 10 ans, le CETU apporte une assistance stratégique et technique sur le périmètre des ouvrages souterrains. »**

ouvrages : une gare souterraine à Marseille Saint-Charles de 400 m de long, un tunnel bitube d'environ 7,4 km avec des rameaux de connexion

le rebroussement des trains imposé par l'actuelle gare de surface en impasse, avec un gain de 15 à 20 minutes pour les 20 000 trains annuels concernés.

L'opération comprend la construction de plusieurs



tous les 500 m, des ouvrages d'entonnement permettant d'aménager 4 voies à quais et un puits de ventilation place Victor Hugo. Sont également compris le raccordement de ces voies nouvelles au réseau ferré existant côté Delorme au Nord et Parette à l'Est, le doublement du tunnel de Saint-Louis situé plus au Nord ainsi que les aménagements pour l'évacuation des matériaux en phase chantier. Ces ouvrages sont estimés, dans la déclaration d'utilité publique, à environ 2 milliards d'euros hors-taxes aux conditions économiques de juillet 2020.

## Une aide stratégique auprès de SNCF réseau

En 2023, le CETU a accompagné SNCF Réseau pour définir la stratégie de pilotage des études de maîtrise d'œuvre, fondée sur l'analyse des risques de l'opération. Le CETU a également assuré la déclinaison de cette stratégie en spécifications techniques

relatives aux ouvrages souterrains introduites dans le cahier des charges des études d'avant-projet. Assistant le maître d'ouvrage pour le recrutement du maître d'œuvre, le CETU a enfin participé à l'analyse des offres et aux auditions des candidats.



Plus de  
**3000**

bâties et ouvrages situés dans la zone d'influence géotechnique, à investiguer pendant les études pour évaluer leur sensibilité intrinsèque

Le CETU est mobilisé en continu depuis plus de 10 ans auprès de SNCF Réseau, maître d'ouvrage du projet aux côtés de SNCF Gares & Connexions. L'appui concerne les sujets suivants, essentiels en matière de projets d'infrastructure souterraine de transport et déterminants quant à la faisabilité de l'opération TSM :

- le contexte géologique, hydrogéologique et géotechnique spécifique dans les terrains très hétérogènes du bassin marseillais ;
- les avoisinants, avec une sensibilité des bâtiments déjà bien identifiée à Marseille suite à l'effondrement d'immeubles rue d'Aubagne en 2018 ;
- les contraintes environnementales pour la réalisation en ce qui concerne notamment la gestion des matériaux excavés, avec un engagement fort du maître d'ouvrage d'évacuer par le fer 90 % des 1,9 million de m<sup>3</sup> de déblais prévus ;
- la justification des dispositions constructives et le dimensionnement des soutènements et revêtements ;
- les dispositifs spécifiques assurant à terme l'étanchéité des ouvrages construits, avec une difficulté particulière pour leur mise en œuvre au droit des entonnements ;
- la logistique et le phasage des travaux, avec un enjeu majeur de maîtrise des coûts et délais pour SNCF Réseau et les co-financeurs du projet ;
- la démarche de management des risques, supervisée par un comité dédié de suivi des engagements et des risques ;

- les aspects ventilation et désenfumage des ouvrages en exploitation, ainsi que la sécurité ferroviaire dans un contexte d'évolution possible de la réglementation.

Le partenariat est formalisé par des conventions de coopération public-public, le CETU agissant pour le compte de SNCF Réseau en assistance stratégique et technique sur le périmètre des ouvrages souterrains. Le maître d'ouvrage bénéficie donc de l'expertise du CETU relative à la conception et au pilotage des études spécifiques aux ouvrages souterrains. Le CETU trouve en retour un contexte favorable pour diffuser, faire appliquer et enrichir la doctrine et l'état de l'art.

### Sébastien MIS

Directeur adjoint de l'agence LNPCA de SNCF réseaux

« Depuis une décennie, le CETU accompagne SNCF Réseau dans le cadre du projet LNPCA. C'est un partenaire majeur pour les futurs travaux souterrains, bâtis et avoisinants. La pro-activité et la réactivité du CETU permettent une collaboration efficace, d'autant plus prégnante alors que le projet est entré dans une phase d'études plus opérationnelle. »

# Dernières mises en conformité des tunnels du RRN

**Avec la fin des travaux de mise en sécurité de la tranchée couverte de Firminy près de Saint-Étienne et du tunnel de la Grand'Mare à Rouen, l'ensemble des tunnels du Réseau Routier National non concédé est aujourd'hui conforme à la directive européenne 2004/54/CE.**

Le CETU a accompagné la DIR Centre-Est de 2009 à 2023 dans l'opération de mise en sécurité des trois ouvrages de Firminy sur la RN88, en tant qu'assistant à maîtrise d'œuvre jusqu'à l'avant-projet de réparation d'ouvrage d'art, puis auprès du maître d'ouvrage pour la contractualisation et le suivi des travaux. Avec ses nouveaux ouvrages et dispositifs de génie civil (issues de secours, niches de sécurité, caniveaux) et ses équipements remis aux normes (barrières, PMV, éclairage, vidéo/DAI, PAU, GTC), l'ouvrage



*Rénovation de la ventilation du tunnel de la Grand'Mare (source DIR Nord-Ouest)*

est aujourd'hui entièrement conforme à la réglementation.

Le CETU a également assisté la DIR Nord-Ouest pour les travaux de rénovation lourde du tunnel de la Grand'Mare à Rouen. Le tunnel a été doté de 7 nouvelles issues

de secours et d'équipements neufs d'alimentation électrique, d'éclairage et de ventilation. Le calendrier a été respecté, malgré un chantier sous exploitation très contraint par le caractère stratégique du tunnel au regard des conditions de circulation routière dans l'agglomération.

## TRANCHÉE COUVERTE DU RONDEAU : LE MARCHÉ ÉQUIPEMENTS PUBLIÉ !

La tranchée couverte du Rondeau a pour objectif de fluidifier la circulation au sud de Grenoble au niveau de l'échangeur autoroutier entre la rocade sud et l'A480. Le CETU assiste la DIR Centre-Est pour la conception et la mise en œuvre des équipements d'exploitation et sécurité. L'ouvrage, d'une longueur de 295m, sera aménagé pour tenir compte du milieu urbain sensible. Après la publication du marché des équipements en 2023, l'assistance continue en phase travaux jusqu'à la mise en service de l'ouvrage.

*La future tranchée couverte du Rondeau (image de synthèse)*



# MAIS AUSSI...

**Une assistance à la DIR Est afin de les accompagner** dans la surveillance, le diagnostic et le traitement des pathologies identifiées lors des inspections des tunnels de la Voie des Mercureaux. Pour le tunnel de Fontain, il s'agit d'une instabilité du front rocheux située à proximité d'équipements dans la zone de tête du tunnel et d'une venue d'eau ponctuelle en voûte où l'étanchéité fait défaut. Quant au tunnel de Bois de Peu, il présente des déformations de l'uni de la chaussée en tunnel dûes à des affaissements ponctuels.

**La poursuite de l'accompagnement de la DREAL Grand Est** dans le cadre des études préalables du projet A31bis, avec l'étude d'un projet de tunnel sur la section neuve du contournement de Thionville.

**Le démarrage d'une mission d'assistance auprès de SYTRAL Mobilités** pour les études de faisabilité et faisabilité approfondie du projet de Tramway Express de l'Ouest Lyonnais (TEOL), qui comporte une partie souterraine de 3 km environ.

**Une assistance à la DiRIF dans le cadre des travaux de rénovation de l'éclairage du tunnel du Landy.** La nouvelle installation LED contribuera à diminuer la consommation énergétique de ce tunnel.

*Tunnel du Landy*

**AGIR**  
pour la transition  
écologique



## Tunnel de Quié : une nouvelle étape en vue du désengorgement de Tarascon

**L**e projet de déviation de Tarascon sur Ariège, qui inclut le tunnel de Quié, mobilise le CETU depuis plusieurs années. Agissant préalablement en assistance auprès de la DIR Sud-Ouest au stade des études préliminaires, le CETU intervient désormais en assistance à maîtrise d'ouvrage auprès de la DREAL Occitanie avec un accompagnement continu pendant la phase de conception sous maîtrise d'œuvre privée depuis 2022. Le CETU a établi en 2023 un contrôle extérieur des études de conception relatives au tunnel ainsi que des pièces du dossier préliminaire de sécurité.

La coopération efficace avec les équipes de MOA et de MOE a permis de traiter au fur et à mesure de la conception les sujets techniques les plus déterminants : injectabilité des terrains au niveau du secteur Balières, intégration de dispositifs de drainage complémentaires pour assurer la stabilité de la tête Nord et l'étanchéité du secteur Balières, anticipation du sujet amiante pour limiter les impacts en phase travaux, conformité de l'alimentation électrique à la réglementation, tout en évitant les installations trop énergivores.



# Accompagner la vie des ouvrages

Le CETU participe à la bonne gestion du patrimoine des ouvrages souterrains et à leur exploitation en sécurité. Il aide à construire des politiques de gestion du patrimoine, inspecte et évalue l'état des ouvrages, réalise des audits de sécurité.

# Le GTFE a soufflé ses 50 bougies !

**L**e CETU a organisé la 100<sup>e</sup> rencontre du GTFE les 12 et 13 octobre 2023 à Lyon, en partenariat avec la Métropole de Lyon. Le thème de l'atelier « Les modes actifs : quelle place dans les tunnels routiers ? » a fait l'objet d'échanges riches entre les participants et coïncide avec le lancement au CETU d'un nouvel axe de recherche sur la prise en compte des mobilités douces dans les tunnels routiers.

Lors des visites techniques, les membres du GTFE ont découvert le PC du métro de Lyon

et le chantier du pôle d'échanges multimodal de la Part-Dieu.

Cette rencontre fut également l'occasion de célébrer les 50 ans du GTFE. Lors d'une soirée festive, le CETU a dévoilé deux supports de communication qu'il a réalisés dans ce cadre :

- un film de témoignages de ses membres, mettant en lumière les apports du GTFE pour la communauté des exploitants de tunnels ;
- une nouvelle plaquette de présentation du GTFE.



A également été projetée une rétrospective de faits marquants survenus durant les 50 années d'existence de la communauté. D'anciens membres et animateurs du GTFE se sont joints aux participants pour célébrer dignement cet évènement.

## Traiter le risque radon dans un souterrain historique

**La Grande Saline de Salins-les-Bains (Jura) a fait appel au CETU pour étudier la faisabilité d'un dispositif de ventilation visant à réduire les concentrations en radon dans la galerie souterraine médiévale de la saline, d'une longueur de 150 m.**

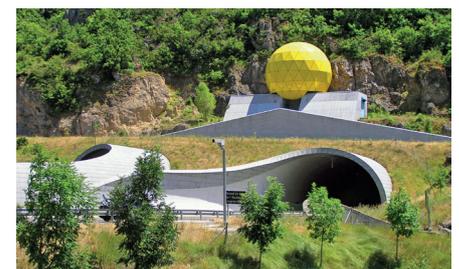
Le radon, gaz radioactif et cancérigène naturellement produit par les sols, s'accumule dans les lieux confinés et doit faire l'objet d'une analyse de risque dans tous les lieux de travail souterrains. La saline rencontre des concentrations supérieures aux seuils réglementaires, et s'est donc engagée dans cette étude de ventilation, sur laquelle pèsent de nombreuses contraintes. L'acoustique doit être particulièrement soignée pour ne pas perturber les visites ; l'intégration visuelle doit être optimale en souterrain comme en surface ; enfin, le coût doit être maîtrisé pour correspondre aux capacités financières d'une commune de 3000 habitants.

Grâce au diagnostic précis réalisé à la demande de la commune par des bureaux spécialisés, et avec l'appui du Cerema pour la bonne compréhension de la problématique générale du radon, le CETU a pu proposer une solution répondant aux critères fixés, et élargir son panel d'intervention.

La Grande Saline

## GTC- SUPERVISION : ACCOMPAGNER LES CHOIX TECHNIQUES

La DIR Massif Central a sollicité le CETU pour une mission d'assistance afin de renouveler les systèmes de gestion technique centralisée, supervision et automatismes de ses cinq tunnels, avec possibilité d'y intégrer un simulateur. Le CETU a analysé différentes solutions du point de vue technique, en particulier sous l'angle de la robustesse, des coûts et du phasage des travaux.



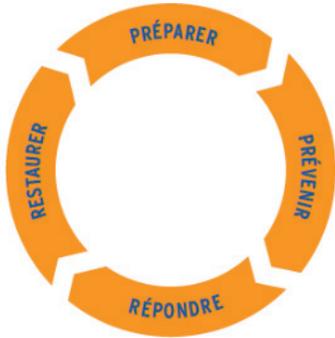
Tunnel du Pas de l'Escalette



Éboulement au-dessus de la galerie de la Brèche (Savoie), août 2023

# Accompagner la gestion de crise en tunnel

Que ce soit pour se préparer à la crise, pour mettre en place des moyens de prévention ou pour organiser le retour progressif à une situation normale, le CETU accompagne les acteurs de la sécurité en tunnel, dans une perspective d'amélioration continue.



La gestion de crise se décline généralement en quatre étapes :

- se préparer à prévenir et gérer des incidents éventuels ainsi que les crises qu'ils pourraient provoquer ;

- prévenir la survenue de ces incidents ;
- répondre à la survenue d'un incident, voire à la crise s'il dégénère ;
- restaurer un retour à la normale en passant éventuellement par des modes temporaires dégradés acceptables.

À l'issue de crises majeures, mais aussi de certains incidents de moindre ampleur souvent riches d'enseignements, un retour d'expérience est mené afin d'améliorer le processus de gestion de crise, fermant ainsi un cycle résilient basé sur l'amélioration continue.

Dans le cadre de son activité, le CETU contribue fortement à la publication des documents de référence nationaux et internationaux en

matière de préparation aux incidents et aux crises en tunnel. Plus ponctuellement, le CETU accompagne les maîtres d'ouvrage et exploitants pour la mise au point concertée des dispositions techniques et organisationnelles qui découlent de ce référentiel.

En 2023, le CETU a ainsi mené une analyse des risques et formulé des propositions d'actions d'accompagnement pour permettre une circulation dans les tunnels routiers dans les meilleures conditions de sécurité possibles durant les Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024. L'étude a en particulier pris en compte la circulation durant cette période d'un nombre élevé de bus dont certains motorisés au gaz ou transportant des personnes à mobilité réduite.

**« Le CETU contribue fortement à la publication de documents de référence nationaux et internationaux en matière de préparation aux incidents et crises en tunnel. »**

## Zoom sur le modèle numérique de la galerie de la Brèche



Mesures de contraintes au vérin plat

Une expertise sur la galerie de la Brèche a été menée au moyen d'une modélisation numérique en éléments finis de l'ouvrage, intégrant le phasage complet de sa construction, le poids propre des éboulis sur la voûte ainsi que le déchargement progressif à opérer par phases. Ce modèle a pris en compte

des données acquises spécifiquement à l'automne 2023, en collaboration avec SNCF Réseau : mesures topographiques, mesures de contraintes au vérin plat, sondages carottés et pressiométriques, ainsi que mesures en laboratoire de la rigidité et de la résistance des éléments de maçonnerie.

À l'issue du travail réalisé en collaboration avec Île-de-France Mobilités, la Direction des Routes d'Île-de-France, la Ville de Paris et la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et des Mobilités, vingt-et-une recommandations ont été élaborées par le CETU et présentées au Préfet de Région Île-de-France et au Préfet de Police de Paris.

Le CETU apporte également son soutien aux gestionnaires pour analyser l'état d'un ouvrage après incident et pour les conseiller sur les actions de remise en état à effectuer, qu'il s'agisse de la structure principale de génie civil, des structures secondaires ou des équipements d'exploitation et de sécurité. Les démarches proposées intègrent la possibilité de procéder à des réouvertures provisoires en mode dégradé, si elles sont acceptables en termes de sécurité.

Le CETU a été sollicité par SNCF Réseau suite à l'éboulement rocheux du 27 août 2023 en Maurienne (Savoie). La voie ferrée située au pied de cet éboulement est protégée par une structure voûtée en maçonnerie construite à l'air libre et remblayée, nommée « galerie de la Brèche ».

Le CETU a évalué la stabilité de cette galerie sous le poids propre des matériaux éboulés.

# 20 000 m<sup>3</sup>

de roches sont tombés  
lors de l'éboulement



### Thomas Triquet

Adjoint au Chef de Groupe  
Ouvrages d'Art chez SNCF Réseau.

**« Sollicité dès le lendemain de l'éboulement, le CETU a su apporter son expertise numérique quant à la réponse de l'ouvrage sous l'éboulement. Les calculs réalisés en urgence ont été primordiaux pour appréhender le comportement du tunnel, sécuriser les interventions humaines en galerie et définir les modalités de déchargement de l'ouvrage. »**

Il s'est ainsi avéré nécessaire de retirer la majeure partie des éboulis afin de décharger significativement la voûte de l'ouvrage pour en assurer la pérennité. Les travaux ont pu être initiés à partir de fin 2023.

# Des inspections parfois atypiques !

Chaque année, les Centrales d'Inspection génie civil et équipements du CETU réalisent des inspections détaillées des tunnels du réseau routier national non concédé, exploités par les DIR.

Ponctuellement, elles peuvent aussi être sollicitées pour des inspections sur d'autres réseaux et pour des ouvrages parfois hors normes. C'est notamment le cas du tunnel canal du Rove aux dimensions impressionnantes (c.f. photo). L'inspection génie civil de la partie nord du tunnel a été réalisée fin 2022 avec des moyens d'accès pour le moins complexes ! Elle a été complétée en 2023 par un examen de la partie subaquatique du revêtement, réalisé par le Cerema. Le retour d'expérience a contribué à l'élaboration d'une nouvelle politique de



Nacelle installée sur un ponton flottant dans le tunnel du Rove

surveillance adaptée au contexte très spécifique de l'ouvrage.

Le complexe souterrain A14/A86 est un autre exemple d'ouvrage atypique par sa longueur (une quinzaine de km avec une trentaine d'entrées ou sorties), son nombre d'ouvrages connexes (près de quatre-

vingts issues de secours et une vingtaine d'usines électriques et de ventilation) et les multiples gestionnaires de réseau avoisinants. Ce contexte unique a conduit le CETU à mettre en œuvre des moyens et une méthodologie spécifiques pour l'inspection équipements menée en 2023.

## BOIS DE PEU : UNE ÉTUDE COMPARATIVE MULTI-CRITÈRES

L'évolution du trafic dans le tunnel de Bois de Peu pourrait conduire à le classer dans la catégorie des tunnels urbains. La DIR-Est a demandé au CETU d'examiner les dispositions de sécurité additionnelles à prévoir dans cette éventualité.

Deux possibilités sont ressorties : soit installer une ventilation longitudinale de désenfumage, soit créer deux issues de secours supplémentaires. Ces deux solutions ont été comparées en termes de sécurité et de coût, et ont fait l'objet d'une concertation avec les acteurs locaux.

Le tunnel du Bois de Peu (Doubs)



# MAIS AUSSI...

**Le lancement d'une instance nationale** sur la sécurité des tunnels ferroviaires avec la participation active du CETU auprès de SNCF Réseau et la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et des Mobilités.

**Un avis sur les calculs de tenue au feu** de la dalle de ventilation du tunnel d'Orelle, suite à l'installation d'un câble haute tension dans l'une des gaines.

**L'accompagnement de la Métropole Nice Côte d'Azur**, suite au décollement de plaques de béton projeté de protection au feu dans le tunnel Liautaud. Le CETU a accompagné la métropole sur une sécurisation en urgence de l'ouvrage face au risque de chute sur les véhicules du béton projeté resté en place au-dessus des voies circulées.

**Une mission d'expertise** pour aider l'exploitant du tunnel du Mont-Blanc à évaluer les compétences et l'aptitude de ses opérateurs lors de mises en situation sur simulateur, ainsi que les dispositifs théoriques et pratiques utilisés.

**La coorganisation de deux rencontres du Comité tunnels**, la première sur « La surveillance du génie civil des tunnels routiers » en relation avec la Collectivité Européenne d'Alsace et la deuxième sur « L'organisation de l'exploitation des tunnels routiers » avec le Département de l'Essonne.



## Prolonger la durée de vie des équipements de ventilation

Les équipements de ventilation sont critiques pour exploiter les tunnels dans de bonnes conditions de sécurité. Comme tous les matériels, leur fonctionnement et leur fiabilité se dégradent dans le temps. Les moteurs sont particulièrement sensibles. Pour prolonger leur durée de vie et économiser les ressources, il peut être envisagé de les rénover. Cependant, les ventilateurs utilisés pour le désenfumage doivent posséder des caractéristiques minimales en termes de fonctionnement à la chaleur. Le CETU étudie les conditions dans lesquelles ces opérations de maintenance lourde sont compatibles avec les obligations de sécurité. La réponse peut être fortement variable suivant le degré de criticité de la résistance à la chaleur pour l'ouvrage considéré. Pour alimenter cette réflexion, des accélérateurs usagés du tunnel du Mont-Blanc subiront un essai au feu. Une publication est prévue pour 2024.

*Le Comité Tunnels lors de la visite du tunnel Gometz-la-Ville dans l'Essonne*

# Publications

## DOCUMENTS D'INFORMATION CETU

- Retours d'expérience sur la réparation du génie civil de tunnels routiers, mars 2023, 115 p.
- Étude spécifique des dangers (ESD), compléments au fascicule 4 du guide des dossiers de sécurité, sept. 2023, 23 p.
- Sobriété énergétique dans les tunnels routiers – équipements d'exploitation et de sécurité, déc. 2023, 38 p.
- Prix des tunnels – Fascicule 5 - Travaux d'équipements de sécurité et d'exploitation – autres équipements, déc. 2023, 16 p.

## ARTICLES DANS LES REVUES SCIENTIFIQUES

- BAUCAL-POYAC L., D'ALOIA SCHWARTZENTRUBER, L., FERAILLE A., L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) appliquée au creusement des ouvrages souterrains, Academic Journal of Civil Engineering, Vol. 41, n°1, Special Issue – CFGC 2023, 11 p.
- BERTHOZ N., BRANQUE D., MICHALSKI A., MOHAMAD W., BOURGEOIS E., LE KOUBY A., SZYMKIEWICZ, F., RALLU A., (2023) Impact of tunnelling on piles in Parisian subsoil: dataset of in-situ measurements in the ground and on three instrumented piles, Data in Brief, 47, 108971, 7 p.
- SALIZZONI P., PERUZZI C., MARRO M., CINGI P., ANGELI D., KUBWIMANA T., MOS A., Measurements and scaling of buoyancy-induced flows in ventilated tunnels, Flow, 2023, vol. 3, 21 p.

## ARTICLES DANS LES REVUES PROFESSIONNELLES

- D'ALOIA SCHWARTZENTRUBER L., BURDIN J., Les ouvrages souterrains sous l'angle environnemental et climatique, Mines et carrières, n°314, juin 2023, pp. 46-55.
- CHAMOLEY D., MORTIER S., Spécifications concernant le remblayage des tranchées couvertes étanchées à l'extrados, Tunnels et Espace Souterrain, n°285, juillet-août-sept 2023, pp.124-127.
- BURKHART J.-F., DOREAU MALIOCHE J., La surveillance au service d'une gestion efficace du patrimoine des tunnels routiers, TEC, n°257, mai 2023, pp. 20-21
- S. BESSON, Équipements électriques dans les tunnels de nombreux enjeux au cœur des préoccupations du CETU, Electromagazine, n° 138, mars 2023, p. 12
- TALON D., Éclairage à LED des tunnels routiers : étude de l'influence de la luminance et de la température de couleur sur la visibilité, modélisation de scénarios d'éclairage adaptatif économes en énergie asservis aux conditions environnementales et au trafic, Tunnels et Espace Souterrain, n°285, juillet-août-sept 2023, pp.112-116.
- WILLMANN C., DEFERT R., KOHL B., VOGIOKAS B., DG-QRAM Dangerous Goods Quantitative Risk Assessment Model – upgraded version now available, Routes/Roads, n°396, mars 2023, pp. 4-7.

## ARTICLES DANS LES CONGRÈS

### **Congrès ATEC-ITS, Paris (France), 18-19 janvier 2023 :**

SANIEL S., LEROUX I., Véhicules automatisés et connectés en tunnels : enjeux et opportunités pour l'exploitation, Atelier F4 - Impact des véhicules commerciaux sur les ouvrages routiers, 14 p.

### **International Seminar on Advances in Design, Construction and Operation of Tunnels in India, Dehradun, (Inde), 19-20 avril 2023 :**

- MONGEOT H., Implementation of « Safety Management Systems »: an innovative approach dedicated to safe road tunnels operation, 24 p.
- MONGEOT H., POTIER M., Self-evacuation process including reduced mobility users, 24 p.

### **10th International Symposium on Tunnel Safety and Security (ISTSS 2023), Stavanger (Norvège), 26-28 avril 2023 :**

TRUCHOT B, WILLMANN C, PERSONNA P, The use of Natural Gas Vehicles in underground facilities: Application to the PARIS-LA-DÉFENSE underground network, 10 p.

### **ITA-AITES WTC 2023, Athènes (Grèce), 12-17 mai 2023 :**

- DALOIA SCHWARTZENTRUBER L., What might be our vision of the ecological transition in tunnels and underground spaces for the years to come?, 8 p.

- CHERREY A., SCHRIQUI P., VENNAT J., BLACHE J., CHAMOLEY D., Which tests for a rapid geotechnical characterization of excavated materials for use as concrete aggregates? Application to the Lyon Turin base Tunnel, 8 p.

- DOREAU-MALIOCHE J., PAILLETTE F., PUGLIA M., SPOHN P., FRACHON S., POLI B., Tunnel inspections with the aid of high-performance image acquisition tools: An insight on key parameters for a successful detection of structural defects, 9 p.

- CHARLEMAGNE S., ROBERT F., MACARY M., DOREAU-MALIOCHE J., BANOS C., BIM modelling of underground structures in the design and operation phases. What can we expect?, 9 p.

- BERTRAND M., FONTANA A., SALOT C., DUMOULIN C., MACARY M., Contractual Practices & Project Management: TELT Time Adjustment Mechanism, 8 p.

**3<sup>e</sup> rencontre Recherche et Innovation en lumière, Lyon (France), 7 juin 2023 :**

DUPOIS P., CHARLES E., étude des technologies d'aujourd'hui et de demain, 24 p.

**10th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering, Londres, (Angleterre), 26-28 juin 2023 :**

BOURGEOIS E., BERTHOZ N., MOHAMAD W., SZYMKIEWICZ F., LE KOUBY A., BRANQUE D., MICHALSKI A., KREZIAK C.,

SOYEZ L., Results of a benchmark exercise of prediction of tunnel-pile interaction: the TULIP project, 6 p.

**30th Quadriennial Session of the CIE, Ljubljana (Slovénie), 18-20 septembre 2023 :**

TALON D., DUMORTIER D., JOST S., BESSON S., LED Lighting in Road Tunnels : Simulation of Energy-Efficient Adaptive Lighting Scenarios, DOI 10.25039/x50.2023.PO073 (article et poster)

**Congrès de l'AFTES, Paris (France), 2-4 octobre 2023 (articles et posters) :**

- CHARLEMAGNE S., ROBERT F., MACARY M., DOREAU-MALIOCHE J., BANOS C., Modélisation BIM d'ouvrages souterrains en phase de conception et en phase d'exploitation. Que pouvons-nous en attendre ?, 9 p.

- RODRIGUES J., D'ALOIA SCHWARTZENTRUBER L., DUFOUR G., GONDRAN N., Analyse du Cycle de Vie (ACV) appliquée à la gestion des matériaux excavés en travaux souterrains : Cas d'étude du prolongement du métro B à Saint-Genis-Laval Hôpital Lyon Sud, 9 p.

- BAUCAL-POYAC L., D'ALOIA SCHWARTZENTRUBER L., LARIVE C., Les tunnels : contribution à la réduction de l'empreinte carbone des transports et éco-conception, 9 p. (articles, poster et présentation orale)

- SUN Y., WU Q., ROUGELOT T., BURLION N., ZGHONDI J., LARIVE C., Fluage et dessiccation d'un béton projeté : approches

multi-échelles expérimentale et numérique, 9 p.

- MACARY M., CHARLEMAGNE S., MICHE N., BESSON A., GUILLAUME J., Sujétions « logistiques » pour le creusement de tunnels longs à grande profondeur, illustré par le chantier du 2<sup>e</sup> tube du tunnel du Fréjus (France-Italie), 9 p.

- CHERREY A., Traçabilité des terres excavées, valorisation sous statut de déchet et sans statut de déchet – Cas des grands travaux, 9 p.

- KASPERSKI J., MACARY M., CABUT C., Réflexions autour du calcul de la provision pour risques identifiés, 9 p.

- LE KOUBY A., THOREL L., BERTHOZ N., MROUEH H., BOURGEOIS E., LENTI L., Le projet ANR E-PILOT : études expérimentales et numériques en statique et en dynamique des interactions tunnelier-fondations profondes, 9 p.

- MICHALSKI A., BERTHOZ N., MERCADO-CHAVEZ C., RALLU A., SUBRIN D., BRANQUE D., Modélisation numérique 3D de l'interaction tunnelier / terrain / pieux appliquée à l'expérimentation in situ TULIP, 9 p.

- GAILLARD C., KASPERSKI J., Construction d'un modèle géologique d'un tunnel dans les Pyrénées : révision et nécessité du réexamen des résultats des reconnaissances, 9 p.

- CABUT C., CHARLEMAGNE S., Les spécificités de la conduite des études amont de tunnels, 9 p.

- BERTRAND M., FONTANA A., SALOT C., DUMOULIN C., MACARY M., Conduite et management de projet : le délai déterminant sur le projet de Lyon-Turin (TELT), 9 p.
- BAUCAL-POYAC L., AMOR B., D'ALOIA SCHWARTZENTRUBER L., FERAILLE A., Première approche de l'évaluation des impacts environnementaux du creusement au tunnelier par l'analyse du cycle de vie (ACV), 9 p.
- LARIVE C., CHAMOLEY D., BOUTEILLE S., Vers un usage optimisé des bétons projetés comme revêtement définitif en ouvrages souterrains, 9 p.
- CHAMOLEY D., BLACHE J., DIERKENS M., CHERREY A., D'ALOIA L., Contexte normatif pour le réemploi des matériaux excavés en granulats pour béton, 8 p.
- MAHUET J.-L., LOUCHARTE J.-N., CHAMOLEY D., MORTIER S., Présentation des cahiers thématiques du « Guide des bonnes pratiques pour l'étanchement et le drainage des ouvrages souterrains », 9 p.

**XXVIIth World Road Congress, Prague (République Tchèque), 2-6 octobre 2023**

- MONGEOT H., MOS A., MAHDMINA A., SCHMIDT F., Operational safety considerations for HGV platooning in tunnels, 12 p.
- CHANARD PH, WILLMANN C, Tunnel security, a complex approach for complex structures, 11 p.

**THÈSES DE DOCTORAT**

- SAYARI T., Étude de la cinétique du séchage des bétons : application à l'atteinte d'un gradient hydrique représentatif

dans le cadre des essais au feu, thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay, soutenue le 9 janvier 2023, 285 p.

- MICHALSKI A., Évaluation de l'impact du creusement au tunnelier à front pressurisé sur des fondations profondes, expérimentation en vraie grandeur et modélisation numérique, thèse de doctorat de l'ENTPE, soutenue le 5 juillet 2023, 149 p.
- DECOR G., Reconnaissance des formes pour l'inspection visuelle des tunnels, thèse de doctorat de l'Université de Strasbourg, soutenue le 27 septembre 2023, 237p.

**AVIS TECHNIQUES CETU « PROCÉDÉS D'ÉTANCHEMENT »**

AT Bentofix (GSB) – NAUE APPLICATIONS, Avis technique n°23-06, juin 2023, 25 p.

**DOCUMENTS PRODUITS AVEC UNE FORTE PARTICIPATION DU CETU**

**Normalisation :**

- NF P95-1021-1 Ouvrages d'art - Protection, réparation et renforcement des ouvrages en béton - Mortier et béton projeté - Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés, février 2023, 136 p.
- NF EN 14488-3 Essais pour béton projeté - Partie 3 : résistances à la flexion (au premier pic, ultime et résiduelle) d'éprouvettes parallélépipédiques en béton renforcé par des fibres, novembre 2023, 28 p.

**Recommandations et évaluations AFTES :**

- Bétons projetés par voie mouillée

pour une application définitive en ouvrage souterrain – Principes et aide à la prescription – GT6R5F1, septembre 2023, 96 p.

- Protection des étanchéités extradossées et drainage des ouvrages souterrains – GT9R19F1, octobre 2023, 64 p.
- Évaluation AFTES « Procédés d'étanchement et de drainage innovants » : EA Preprufe 300R, EA Sikaproof P12, EA Sikaproof A+, EA Siphene.

**Publications PIARC :**

- Impact des nouvelles technologies de propulsion sur l'exploitation et la sécurité des tunnels routiers - Rapport technique, Comité 4.4, PIARC, 2023R34FR, 76 p.
- Améliorer la résilience des tunnels routiers en tenant compte de la sécurité et de la disponibilité - Rapport technique, Comité 4.4, PIARC, 2023R26FR, 309 p.
- Bonnes pratiques en matière d'entretien et d'exploitation des tunnels routiers urbains à fort trafic - Rapport technique, Comité 4.4, PIARC, 2022R34FR, 62 p.

**Autres documents :**

- Utilisation de la télé-inspection pour la surveillance des ouvrages de génie civil, Note d'information n°48 de l'IDRRIM, avril 2023, 22 p.

**RAPPORTS DE RECHERCHE**

CETU, ENTPE, Université Gustave Eiffel, Impact du creusement au tunnelier sur des fondations profondes : principaux enseignements du projet de recherche TULIP, Partie I : expérimentation en vraie grandeur et exercice de prévision, Société du Grand Paris (SGP), juillet 2023, 41 p.

# Lexique

## **AFTES**

Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain

## **AITES**

Association Internationale des Tunnels et de l'Espace Souterrain

## **ANDRA**

Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs

## **ANR**

Agence Nationale de la Recherche

## **ATMB**

Autoroutes et Tunnel du Mont-Blanc

## **ANSSI**

Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information

## **BIM**

Building Information Modelling

## **CEREMA**

Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

## **CERN**

Centre Européen pour la Recherche Nucléaire

## **CIGEO**

Centre Industriel de stockage Géologique

## **CNESOR**

Commission Nationale d'Évaluation de la Sécurité des Ouvrages Routiers

## **COSUF**

Comité on Operational Safety of Underground Facilities

## **DAI**

Détection Automatique d'Incidents

## **DIR**

Direction Interdépartementale des Routes

## **DIRIF**

Direction des Routes d'Île-de-France

## **DGITM**

Direction Générale des Infrastructures, des Transports et des Mobilités

## **ENTPE**

École Nationale des Travaux Publics de l'État

## **FCC**

Futur Collisionneur Circulaire

## **GTC**

Gestion Technique Centralisée

## **GTFE**

Groupe de Travail Francophone des Exploitants des tunnels routiers

## **INERIS**

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

## **ITA-CET**

International Tunnelling Association Committee for Education and Training

## **ITSEOA**

Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art

## **PAU**

Poste d'Appel d'Urgence

## **PIARC**

World Road Association/ Association Mondiale de la Route

## **PoCES**

Pôle de Compétences en Environnement Souterrain

## **PMV**

Panneaux à Message Variable

## **SNCF**

Société Nationale des Chemins de Fer français



## Centre d'Études des Tunnels

[cetu.developpement-durable.gouv.fr](http://cetu.developpement-durable.gouv.fr)

25 avenue François Mitterrand

69500 Bron - France

Tél. +33 (0)4 72 14 34 00

Fax. +33 (0)4 72 14 34 30