



INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

Caractérisation d'un feu de référence en tunnel de transport guidé urbain

Convention STRMTG – IFSTTAR Synthèse phases 1 et 2

Date : mars 2019

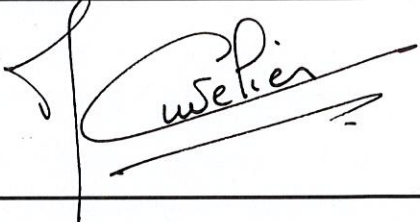
Version 3

Responsable d'étude/Rédactrice : Marielle CUVELIER, COSYS-ESTAS
Vérificateur / Approbateur : Gérard Couvreur, El Miloudi El Koursi, COSYS-ESTAS



Référence sur Numéro de contrat : RP1-F16087 code convention 578
Confidentialité : Confidentialité

Version	Date	Objet
0	10/01/2018	Création
1	10/01/2018	Prise en compte des remarques des valideurs/approbateurs
2	15/03/2018	Prise en compte des remarques du STRMTG
3	26/03/2019	Prise en compte des remarques de la DGITM

REDACTION

	Signature
Nom: M. CUVELIER Fonction: Ingénieure de Recherche	

VALIDATION/APPROBATION

	Signature
Nom: G. COUVREUR Fonction: Ingénieur de Recherche	
Nom: EM. EL KOURSI Fonction: Directeur de Recherche	

Synthèse

La sécurité des tunnels de transports guidés urbains constitue un enjeu capital pour l'ensemble des acteurs du secteur. En France, les tunnels représentent 84% du linéaire des métros, 26% du linéaire du RER (hors RFN) et 0,5% du linéaire des tramways.

L'incendie est un des accidents redoutés identifiés dans les analyses de risques des systèmes de transports guidés. Un feu se déclarant dans un tunnel peut en effet avoir des conséquences dramatiques, tant au niveau humain qu'au niveau des infrastructures et du matériel roulant. Le confinement du milieu peut aggraver l'incendie en intensifiant ses conséquences (évacuation plus problématique, concentration de fumées, température élevée...) et rendre plus difficile les conditions d'intervention des services de secours sur le sinistre.

Depuis de nombreuses années, suite à des incendies tragiques survenus dans des tunnels routiers, ferroviaires ou de métro, des études et des recherches ont été menées et des actions ont été mises en œuvre pour sécuriser le matériel et les installations vis à vis de ce risque : application de normes anti-feu, instructions techniques réglementaires.

Sans rappeler de façon exhaustive l'ensemble de cette réglementation et des normes appliquées en France, on peut citer :

- Sur le volet réglementaire, l'Instruction Technique Sécurité Tunnels du 22 de novembre 2005 relative à la sécurité dans les tunnels des systèmes de transport public guidés urbains de personnes. Cette instruction technique est annexée à l'arrêté du 22 novembre 2005. Elle précise son champ d'application qui couvre le comportement au feu des matériaux, les dispositions relatives aux véhicules, les dispositions relatives à l'évacuation des personnes, les dispositions relatives à l'alimentation électrique des équipements de sécurité, les équipements de ventilation et de désenfumage, les équipements nécessaires à l'intervention des secours, les exigences de maintenance et de contrôle périodique,
- Sur le volet normatif, la norme EN45545 est relative à la protection contre les incendies dans les véhicules ferroviaires. Elle est obligatoire dans le domaine ferroviaire et d'usage « volontaire » pour le domaine du transport guidé urbain. Elle a pour objectif de protéger les voyageurs et le personnel en cas d'incendie à bord de ce type de véhicules. Cette norme décrit les mesures et les exigences qui doivent être prises en compte dans la conception des véhicules, dans le contexte de l'infrastructure sur laquelle ils sont exploités.

Dans ce contexte et dans l'objectif d'avoir une connaissance plus précise de ce risque « incendie », l'Etat (la DGITM et la DGSCGC) a initié en février 2016, une étude intitulée « étude des feux de référence en tunnel de transports guidés urbains », visant à caractériser le risque d'incendie dans les transports guidés urbains en milieu confiné. Cette étude concerne les systèmes de transports guidés urbains conformes à l'IT 2005 et aux normes EN 45545, principalement les futurs systèmes à mettre en service, mais s'appuie sur le retour

d'expérience des systèmes antérieurs sur la période 2005-2014. Elle est à mettre en perspective avec l'état des lieux des tunnels TGU existants dressé par le STRMTG en 2013 [4]. L'étude s'articule autour des quatre phases suivantes :

- Phase 1 : caractérisation de la source d'incendie en transports guidés urbains ;
- Phase 2 : qualification des facteurs aggravants et des risques d'immobilisation en tunnel ;
- Phase 3 : analyse du comportement au feu du matériel roulant ;
- Phase 4 : identification des risques connexes en particulier pour les trains croiseurs et suiveurs.

Cette synthèse rappelle les résultats des phases 1 [1] et 2 [2] réalisées par l'IFSTTAR et dont les objectifs étaient la caractérisation de la source d'incendie en transports guidés urbains, la qualification des facteurs aggravants et des risques d'immobilisation en tunnel. Ces résultats ont alimenté les phases 3 et 4 de l'étude confiées au CETU. Elle tente de dégager, selon la perception de l'IFSTTAR et sous sa seule responsabilité, quelques pistes de recommandations. Il nous apparaît important de préciser que les données disponibles pour mener à bien les phases 1 et 2 ont été peu nombreuses, ceci est lié à la rareté des incendies graves et au faible nombre d'informations disponibles pour chaque accident (confidentialité des données, procédures et rapports d'incident indisponibles ou peu détaillés). Au regard de cette faible quantité de données, il n'a pas été possible de probabiliser le risque et il faut prendre les résultats obtenus avec précautions sans en oublier le contexte.

En France, les objectifs de sécurité pour les systèmes de transport guidés sont fixés par les normes et la réglementation de sécurité élaborée par les autorités de l'Etat.

C'est dans ce contexte réglementaire et normatif actuel enrichi par le retour d'expérience (REX) et les règles de l'art que les risques susceptibles d'affecter le système de transport sont identifiés et « couverts » par les ingénieurs tout au long du processus de conception-développement-validation au travers du dossier de sécurité. Ce document permet de s'assurer que la réglementation et les normes en vigueur sont respectées, que l'ensemble des critères techniques, environnementaux et humains ont été pris en compte et que toutes les interfaces et interactions avec l'environnement du système ne remettent pas en cause la sécurité du système. Il montre également que les règles employées pour la conception, la construction et l'exploitation assurent la sécurité du système et son maintien dans le temps. Dans les systèmes de transports guidés urbains, la sécurité dans les tunnels résulte d'une combinaison de mesures prises au niveau de l'infrastructure, de l'exploitation et du matériel roulant, complétée par des mesures adaptées pour faciliter l'intervention des services de secours.

Ce même contexte réglementaire et normatif limite aujourd'hui le risque d'incendie pour les réseaux de transports guidés les plus récents et ceux qui ont fait l'objet de rénovations récentes. Néanmoins, comme pour tout risque industriel, le risque « zéro » n'existe pas, le système de transport peut subir des défaillances d'origine technique, organisationnelle ou humaine ou faire l'objet d'actes délictueux. Même s'ils ne sont pas concernés par l'étude, il faut soulever le cas des réseaux plus anciens qui n'ont pas fait l'objet de rénovation et pour lesquels les normes actuelles ne s'appliquent pas. Ces derniers pourraient donc présenter un

risque « incendie » plus important. Il faut également considérer les réseaux pour lesquels le matériel roulant a été remplacé ou rénové, faisant coexister des matériels nouveaux avec des installations d'âge, de conception, de protection vis-à-vis du risque incendie différentes.

Notre étude confirme, à partir des données exploitées et l'étude bibliographique réalisée, que les incendies critiques pour les TGU sont rares (49 sur la période 1903-2004). Les réseaux sont néanmoins confrontés à des incidents « feu-fumée » réguliers : 323 cas d'incidents « feu-fumée » ont pu être recensés sur la période 2005-2014 sur le territoire français. Les événements recensés intéressent pour l'essentiel les réseaux de conception et d'équipement antérieurs à l'instruction et aux normes précitées. Ils constituent un retour d'expérience (REX) sur lequel s'est appuyée l'étude.

Analyse macroscopique

Les données de ces 323 cas ont fait l'objet d'une analyse macroscopique permettant d'établir un état des lieux des événements « dégagements de fumée ou incendie » sur la période et de dégager des tendances.

Les principales conclusions de cette analyse macroscopique sont :

1. Les incidents « feu-fumée » restent peu nombreux, le taux d'incidents « Dégagement de fumée dans un train ou dans un tunnel » sur le nombre total d'incidents (uniquement les événements en lien avec la sécurité) est de 3,8% pour les métros et RER et de 0,11% pour les tramways,
2. Sur les 323 cas étudiés, les incidents « feu-fumée » détectés ou se déroulant en tunnel représentent 16% et près de 73% sont détectés ou se déroulent en stations souterraines. Pour les 11% restants, la localisation de l'incident n'est pas connue,
3. 73,5% des incidents « feu-fumée » concernent les métros, ce qui peut s'expliquer par le fait que les métros (tous réseaux confondus) concentrent le plus grand nombre de lignes et la production la plus importante en termes de kilomètres commerciaux parcourus,
4. Les réseaux de tramways présentent peu d'incidents « feu-fumée » (4 cas, 0,93%) proportionnellement au nombre de kilomètres commerciaux parcourus (366 millions de km),
5. Plus des $\frac{3}{4}$ des incidents sont signalés ou ont lieu en gares ou en stations, toutes causes confondues et tous types de TGU confondus,
6. Un peu plus d'un tiers des incidents « feu-fumée » ont une source « externe » au système de transport et près des deux tiers ont une source « interne » au système de transport,
7. Pour les sources « externes » au système, les résultats montrent la prédominance de la cause « cigarette » dans la catégorie de lieu « Galerie-armoire ou locaux techniques »,
8. Pour les sources « internes » au système, les résultats montrent la prédominance de la cause « Electrique » notamment dans les catégories de lieu « Matériel roulant » et « Voie-Tunnel-Viaduc ». Le deuxième facteur important est la cause « Négligence », notamment dans les catégories de lieu « Accès-Couloir-Quai » et « Galerie-Armoire ou locaux techniques »,
9. 81% (260 cas) des incidents ne donnent lieu à aucune évacuation de rame. 2 incidents ne donnent pas l'information. 61 incidents donnent lieu à une évacuation de rame(s). Sur ces

61 cas, 9 incidents présentent une évacuation de rame(s) en interstation en tunnel et 22 incidents une évacuation de rame(s) en interstation aérienne,

10. Les incidents « feu-fumée » recensés sur la période 2005-2014 ont généré peu de victimes : Seuls 26 incidents « feu-fumée » sur les 323 cas étudiés ont permis de recenser si il y a eu des victimes : aucun mort, 19 incidents sans blessés, 6 incidents avec « blessés » (malaises, incommodations, blessés légers). Il est probable que les incidents ne fournissant pas cette information n'ont pour la majorité pas occasionné de victimes.

Analyse par arbre de causes

A partir de 16 cas d'incidents « feu-fumée » dont les rapports techniques rédigés après les incidents ont été fournis et sont suffisamment renseignés, il a été possible d'élaborer des arbres de causes permettant de :

- déterminer les sources types des incidents « feu-fumée »,
- déterminer les éléments particuliers à prendre en compte (éléments particuliers principaux qui affectent directement l'occurrence de l'événement « feu-fumée » et les éléments particuliers dits secondaires qui participent à l'aggravation de l'incident « feu-fumée » ou à ses conséquences.

A partir de ces deux types d'analyses, il a été possible de construire un arbre des causes « générique ».

Les seize analyses par arbre des causes ont permis de déterminer que les sources-types d'incidents « feu-fumée » peuvent être une source unique (mécanique, électrique, malveillance ou détritrus) ou une combinaison de sources (mécanique + électrique, mécanique + infiltration, électrique + infiltration, détritrus + infiltration ou détritrus + électrique).

Sur ces cas d'incidents exploitables pour l'étude, l'analyse montre que les éléments particuliers à prendre en compte sont majoritairement des facteurs matériels (projection d'huile, déficience des liaisons radio, ...) et des facteurs organisationnels (multiplicité des documents et des instructions, difficultés communications entre intervenants, manque de connaissance des points d'accès pour les secours, complexité des interventions en fonction des territoires, plans non à jour, ...).

A partir de l'ensemble des analyses de la phase 1 (macroscopique et par arbre des causes), un arbre des causes « générique » a pu être élaboré. Il reprend les sources types des incidents « feu-fumée », les éléments particuliers principaux contribuant au déclenchement de l'incident « feu-fumée » directement (causes latentes) et ceux intervenant dès lors que l'incident « feu-fumée » est déclenché (facteurs aggravants).

L'étude montre que les causes des incidents « feu-fumée » ne sont généralement pas liées au non respect des normes ou de la réglementation, sauf peut-être lorsqu'ils sont liés au non respect de l'interdiction de fumer dans l'enceinte du TGU (cause « cigarettes »).

L'ensemble de ces résultats permet de dégager des pistes de réduction du risque « feu fumée » dans les transports guidés urbains, telles qu'une meilleure prévention des risques de défaillances électriques et l'application rigoureuse des procédures de maintenance, de nettoyage régulier des voies, stations, tunnels ou du matériel roulant.

Au regard des résultats obtenus dans cette étude à partir de 323 cas d'incidents « feu-fumée », nous n'avons pas mis en évidence d'accidentologie « feu-fumée » spécifique et significative propre aux tunnels de transports guidés urbains.

Sachant que l'analyse menée en phase 1 concerne des systèmes antérieurs à l'instruction technique de 2005 et aux normes actuellement en vigueur, on peut supposer que les systèmes intégralement conformes aux exigences actuelles présentent un risque « incendie » plus limité.

L'identification des sources-types d'incendie pour le matériel roulant en phase 1 et les données techniques des matériels roulants (source STRMTG) ont permis de déterminer des « localisations-type » de sources d'incendie sur le matériel roulant en vue d'apporter des éléments à la simulation, objet de la phase 3 de la convention confiée au CETU dont l'un des objectifs est d'élaborer des scénarios de simulation.

Les types de configuration identifiés pour le matériel roulant sont les suivants :

- Sous-caisse – bogie moteur,
- Sous-caisse – dispositif de freinage,
- Intérieur caisse,
- Dessus caisse – pantographe,
- Latéral caisse – frotteur,
- Sous-caisse – roue.

Les scénarios retenus par le CETU pour la simulation sont les suivants :

- Scénario 1 : Source en milieu de caisse sous plancher (métro),
- Scénario 2 : Source en extrémité de caisse avec intercirculation élastomère (tramway + métro fer),
- Scénario 3 : Source en extrémité de caisse avec intercirculation et pneus (métro),
- Scénario 4 : Source en toiture proche pantographe (tramway),
- Scénario 5 : Source dans l'espace voyageur – feu de sièges.

Pour les scénarios 1 et 4, une sensibilité à la présence de batteries (matériels roulants hybrides apparaissant sur les réseaux tramway) sera également étudiée.

Ces scénarios font l'objet du rapport de la phase 3 de la convention confiée au CETU [3].

Une analyse plus précise de la source d'incendie « cigarette » a été menée à partir des données fournies pour la phase 1 et de l'expertise du STRMTG sur le sujet. Cette analyse permet de dire qu'en dépit de quelques événements significatifs par leur récurrence et leur portée dans certaines circonstances pour les tunnels existants, la source « cigarette » et ses conséquences apparaissent comme négligeables pour les systèmes conformes à l'instruction technique relative aux tunnels de TGU du 22 novembre 2005. Le risque sera d'autant plus réduit que les lignes seront dotées de façades de quai et que des « pièges à débris » seront disposés pour protéger les points résiduels où ces derniers pourraient encore s'accumuler et nettoyés régulièrement.

Le nettoyage des zones d'accumulation de débris ou d'encrassement de toute nature, approprié à leur exposition à ce phénomène et aux conditions réelles d'exploitation ainsi que

l'élimination régulière des poussières collectées par les ventilateurs contribuent efficacement à l'élimination des risques.

Le risque incendie concerne l'ensemble du système de TGU, il est pris en compte dès la conception du système dans les dossiers de sécurité participant ainsi à la prévention des incendies. Neuf analyses préliminaires des dangers - APD (six antérieures / trois postérieures à l'application de la norme EN 45545 (2016)) issues de dossiers de sécurité ou de dossiers préliminaire de sécurité ont été analysées sous l'angle « feu-fumée ».

L'analyse des APD disponibles montre qu'elles sont différemment développées et renseignées. La terminologie utilisée dans ces APD est très fluctuante d'un système de transport à un autre ou d'un constructeur à un autre. La problématique tunnel / station souterraine n'apparaît explicitement que dans certaines APD. Cette analyse montre également que la plupart des causes possibles (sources-type) identifiées dans le REX phase 1 sont présentes dans les APD. Par contre, et c'est bien normal puisque les APD, par essence, listent des dangers potentiels, le champ des APD analysées couvre plus de sources que le REX des systèmes existants.

Les différents moyens de couverture ou de réduction du risque « incendie » (exigences de sécurité) identifiés dans les APD fournies sont plus ou moins détaillés et explicites selon le système de transport ou le constructeur. Ils ne diffèrent pas selon que l'APD a été réalisée avant ou après la mise en application de la norme EN 45545. Ils peuvent être regroupés sous trois items différents :

- Fonctions de sécurité,
- Contraintes de conception/réalisation/dimensionnement,
- Procédures d'intégration, d'exploitation et de maintenance.

Une analyse fine, détaillée et harmonisée des sources potentielles d'ignition permettrait d'enrichir les APD des TGU sur ce plan.

L'analyse de neuf incidents « métro » pour lesquels nous disposons d'un rapport d'incident détaillé, a permis, au travers de la construction de scénarios d'événement pour chacun d'eux, de constater que :

- Il ne se dégage rien de spécifique selon que le métro soit en mode pilote automatique avec conducteur (PA avec conducteur) ou en mode conduite automatique intégrale (CAI),
- La situation dégradée, à savoir le risque d'immobilisation, sans possibilité de repartir, d'une ou plusieurs rames en tunnel, associé à un événement « dégagement de fumées ou incendie » apparaît essentiellement dans les cas suivants :
 - la cause de l'incident a pour origine un court-circuit ou un flash sur le matériel roulant ou sur l'infrastructure enclenchant la coupure automatique de l'alimentation « haute tension » (HT) entraînant l'immobilisation des rames,
 - la coupure de l'alimentation « haute tension » (HT) se produit suite à l'activation d'une poignée d'évacuation par un voyageur ou un personnel à bord (les rames étant en FU),

Dans ces cas, la remise sous-tension qui aurait permis d'amener en station les rames arrêtées en interstation n'a pas été possible.

Au regard du faible nombre d'incidents disponibles, ces constats sont à prendre avec beaucoup de précautions.

Scénario d'incident générique

A partir des scénarios d'événement des neuf incidents « métro », nous avons élaboré un scénario d'incident générique. Son objectif est de permettre de caractériser les situations pouvant conduire au risque d'immobilisation, sans possibilité de repartir, d'une ou plusieurs rames en tunnel, associé à un événement « dégagement de fumée ou incendie » et au risque d'évacuation en tunnel. Le scénario générique présenté a intégré des hypothèses de situations susceptibles de se produire mais non rencontrées dans l'étude.

Il montre qu'en cas d'incident « feu-fumée », la capacité à rapatrier la rame impactée en station pour permettre son évacuation et à organiser l'arrêt ordonné des autres trains en station est à privilégier, sous réserve d'impossibilité technique empêchant la traction (ex. coupure l'énergie de traction non réarmable). C'est généralement la stratégie recherchée par les réseaux de TGU.

Bibliographie

- [1] Caractérisation d'un feu de référence en tunnel de transport guidé urbain - Rapport phase 1 – M. Cuvelier, A. Ouedraogo, G. Couvreur, EM. El Koursi, Convention STRMTG – IFSTTAR, version 7, juin 2017.
- [2] Caractérisation d'un feu de référence en tunnel de transport guidé urbain - Rapport phase 2 – M. Cuvelier, G. Couvreur, EM. El Koursi, Convention STRMTG – IFSTTAR, version 4, mars 2018.
- [3] Caractérisation d'un feu de référence en tunnel de transport guidé urbain - Phase 3 : Analyse du comportement au feu des matériels roulants neufs – J. Guivarc'h, X. Ponticq, Convention STRMTG – CETU, décembre 2017.
- [4] Etat des lieux de la sécurité des tunnels existants des transports guidés urbains - Traitement des données des dossiers de sécurité régularisés – rapport STRMTG - décembre 2013.