



# La maintenance des tunnels ferroviaires

Des opérations de régénération adaptées à des ouvrages sensibles et très anciens dans des conditions d'exécution particulières et contraignantes !

Francesco Chille (SNCF Réseau)

Christine Thuaud (SNCF Réseau)

1. Généralités
2. Conditions d'exécution
3. Etudes / conception
4. Techniques Travaux

# Sommaire

# 01

## Généralités

# Généralités

Les premiers référentiels en matière de conception des travaux de réparation datent des années 70, à la suite de l'accident de VIERZY, en se basant sur les recommandations de la commission d'enquête.

Les conditions de sécurité → Elles sont primordiales et concernent:

## La stabilité de l'ouvrage

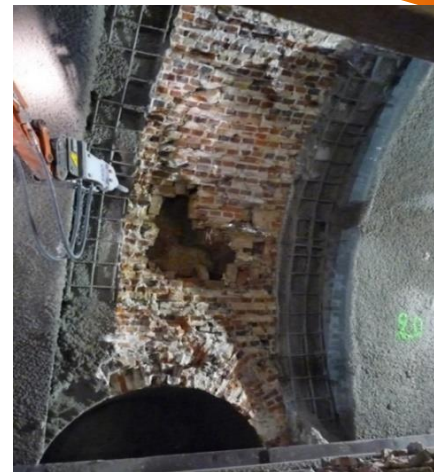
- Elle est fonction de son état (contraintes et pathologies)  
Coefficient de sécurité avant travaux a priori  $> 1$
- Elle impose des travaux préalables (injections, ancrages, mise sur cintres...)  
Visant à compenser la réduction du coefficient de sécurité lié à certains travaux.
- Travaux par petites parties et phasage par plots alternés

## Le personnel de chantier

- exploitation ferroviaire (circulation des trains, courant de traction - 25 kV)
- conditions de travail (ventilation...)

## Les circulations ferroviaires

- Limitation temporaire de vitesse
- Dégagement des gabarits de circulation, stabilité des voies maintenues en service.
- Perturber le moins possible la régularité des trains, initialisation des travaux à l'avance  
Identification et Programmation des travaux 5 à 8 ans avant REA



# Généralités

Les principales interventions durant la vie de l'ouvrage  
(ne dépendent pas des mêmes budgets) :

**Maintenance** : Réparation ou Régénération, pour limiter l'effet du vieillissement

- Confortement ou Reconstruction localisée du revêtement

**Modernisation** : Adaptation aux évolutions de l'exploitation / de la réglementation

- Augmentation du débouché, pour mise au gabarit
- Sécurisation des tunnels, création de niches...
- Electrification du réseau




# 02

## Conditions d'exécution

# Conditions d'exécution

Très particulières et contraignantes sur le Réseau ferré National

Selon le lieu, le type et la durée des travaux, plusieurs solutions sont envisageables :

- Utilisation du « blanc-travaux » : interruption quotidienne naturelle des circulations (souvent inférieure à 4h voir à 3h en IdF)
- Utilisation de plages travaux aménagées : à prévoir plusieurs années à l'avance ! 
- Travail sous Interruption Temporaire de Circulation ou Interruption complète des circulations avec :
  - Suppression de certaines circulations
  - Détournement des circulations sur un autre itinéraire
  - Transfert de circulations sur un autre mode de transport
  - Installation d'un système de circulation à contresens avec éventuellement circulations commerciales sur la voie contiguë à celle de chantier



**Nécessité d'anticiper et planifier les travaux à l'avance**

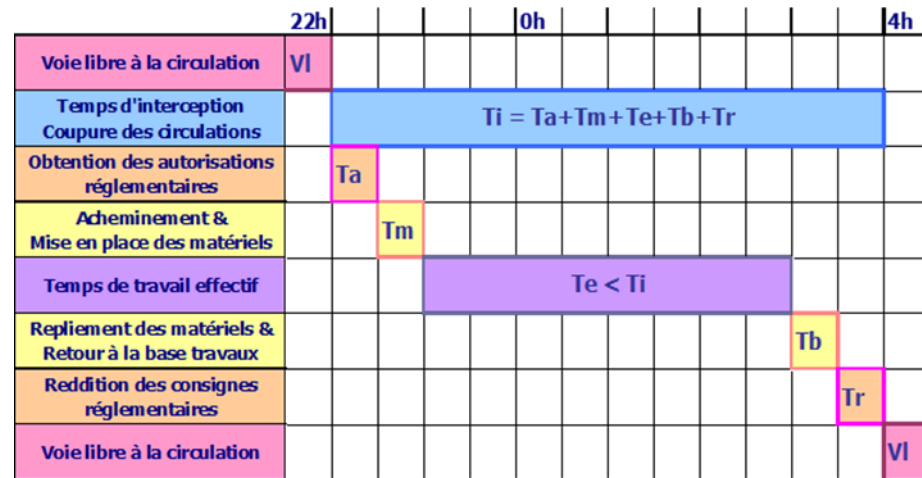
# Conditions d'exécution

Très particulières et contraignantes sur le Réseau ferré National

Lors d'une Interruption Temporaire des Circulations (ITC), la durée d'interception entre trains doit être réduite pour obtenir le temps de travail effectif :

- Pour la sécurisation de la zone et les autorisations réglementaires (formalités voies, consignation caténaire si nécessaire)
- Pour le déplacement des machines sur le site du chantier (acheminement par train travaux)

La coupure simultanée des voies n'est pas toujours possible : chantier avec circulations sur voie contiguë !



**8h d'interception entre trains (ITC) = 6h de temps de travail effectif en tunnel**



# Conditions d'exécution

## Très particulières et contraignantes sur le Réseau ferré National

Conditions d'exécution = données d'entrée pour la conception (et parfois imposées par le type de travaux, par exemple en cas d'abaissement de plateforme)

Elles sont définies selon le type de ligne (voie unique, LDFT, circulations voyageurs et / ou FRET, etc.)

### Choix et détermination des plages travaux :

- Pour partager les infrastructures ferroviaires afin de satisfaire aussi bien les besoins fonctionnels de l'exploitation que ceux de la maintenance
- Par une approche technico-économique permettant de minimiser l'impact sur les circulations mais aussi sur le coût des travaux

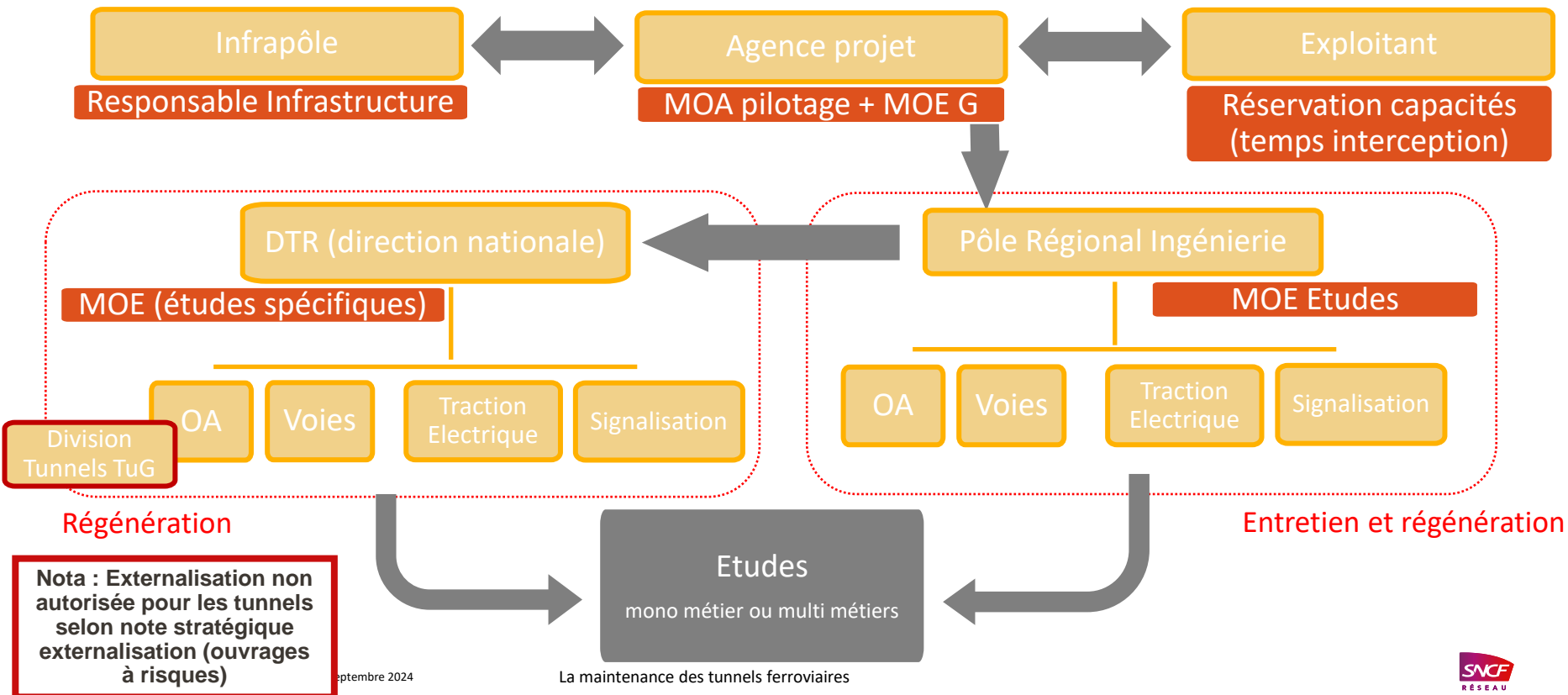
**Temps de travail effectif plus long = rendement plus élevé et coût plus faible**

# 03

## Etudes / conception

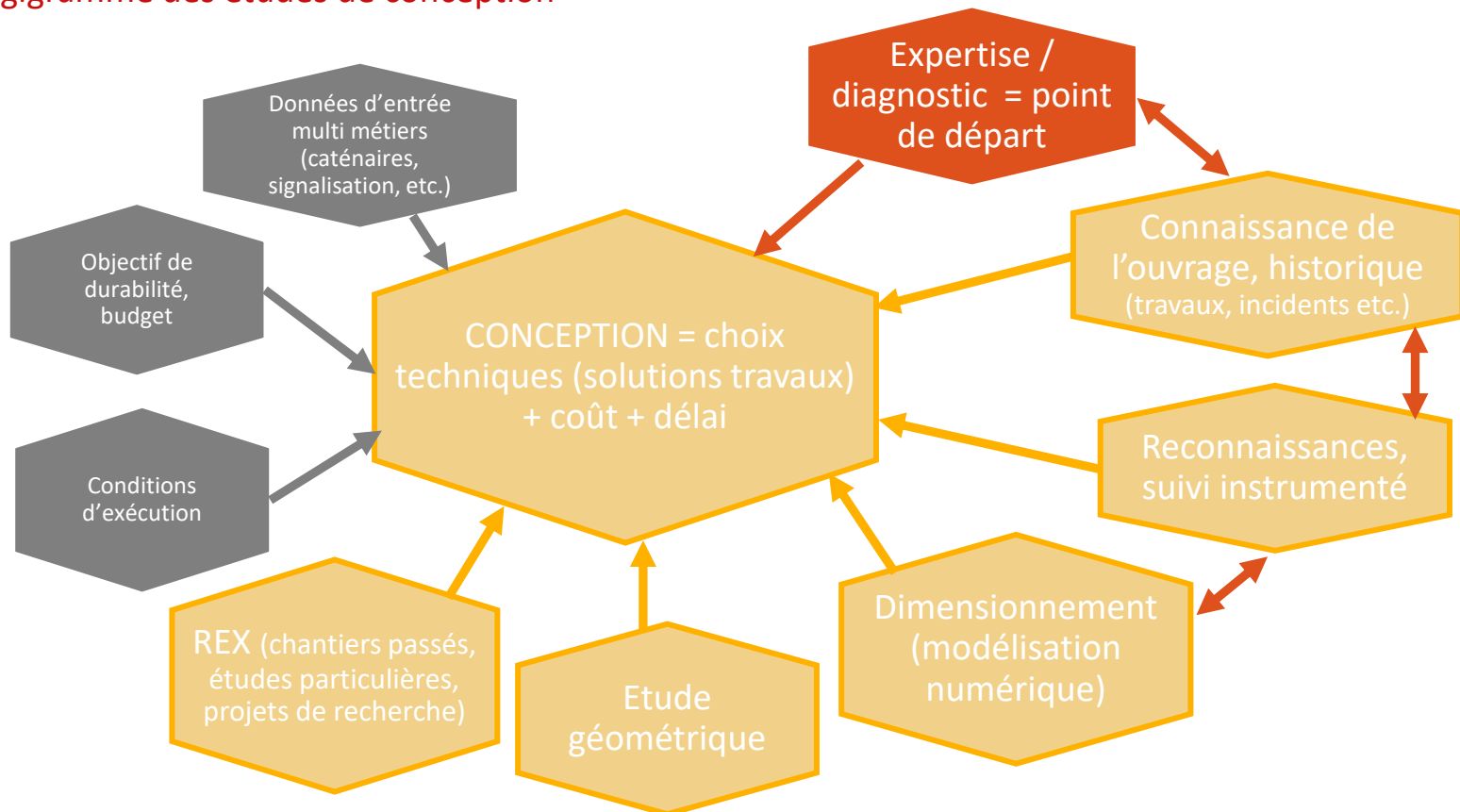
# Etudes / conception

Logigramme des principaux acteurs d'un projet de régénération



# Etudes / conception

## Logigramme des études de conception



# Etudes / conception

## Expertise / diagnostic

Les conclusions de l'expertise donnent les préconisations travaux, les échéances sur lesquelles les études se basent pour élaborer le projet de travaux de régénération

ACTIONS PRECONISEES			
Analyse de risque	Description	Urgence (date limite)	Montant Estimatif
X	Travaux de régénération: 1. Coque engravée avec raidisseurs du PM 430 à 475 ; 2. Reprises localisées des zones de moellons écaillés en naissances : - Côté V1 : du PM 226 à 232, 265 à 274 et du PM 297 à 300 ; - Côté V2 : du PM 300 à 302, 310 à 315, 324 à 331, 410 à 418 et du PM 420 à 422. 3. Réfection des deux têtes de tunnel et des murs en aile côté MONTAUBAN.	U1s 31/12/2024	2 520 000,00

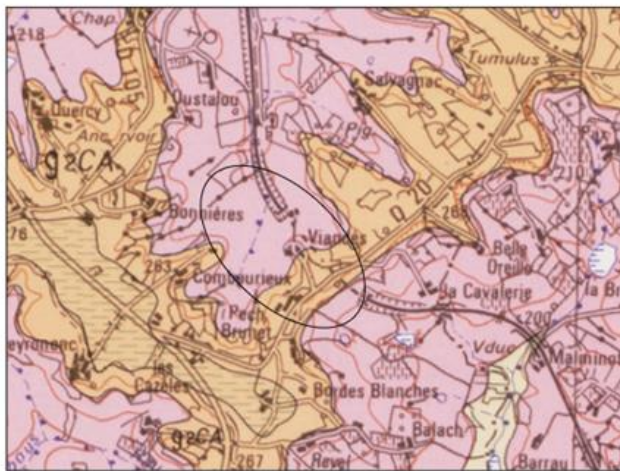
**Expertise / diagnostic  
= point de départ de la  
conception !**

# Etudes / conception

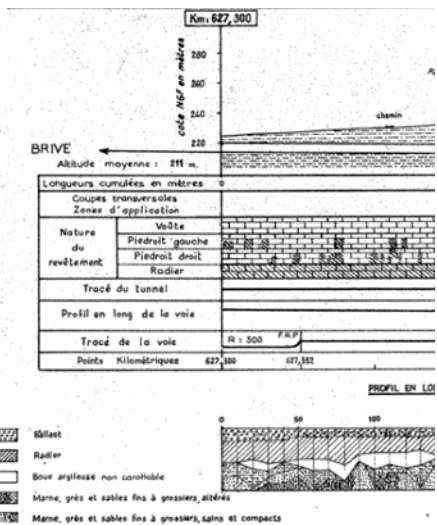
Connaissance de l'ouvrage, historique, etc.

Connaissance approfondie de l'ouvrage :

- Caractéristiques
- Historique : construction, travaux passés, incidents éventuels
- Synthèse géologique et géotechnique (massif encaissant, conditions géologiques, hydrogéologiques, etc.)
- Analyse et synthèse de l'ensemble des données disponibles



Carte BRGM 1/50 000 CAUSSADE N°905



## 3.2.2. CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Les résultats des essais mécaniques réalisés sur des échantillons de maçonnerie mixte et de moellons de calcaire sont présentés dans le tableau ci-dessous (les valeurs en rouge sont issues de la campagne de SIMECSOL réalisée en 1995, les autres de la campagne d'HYDROGEOTECHNIQUE menée en 2014) :

MACONNERIES			Densité sèche	Porosité approchée	Module d'Young	Coefficient de Poisson	Résistance à la compression	Résistance à la traction
Sondage / Essai	Profondeur de l'échantillon	Nature	$\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	$\eta$ %	E MPa	$\nu$	Rc MPa	Rtb MPa
<b>MOELLONS CALCAIRE</b>								
30 4D	0.70 - 0.80 m	Moellon calcaire blanc beige	2,71				46,4	4,9
492 4D	0.60 - 0.40 m	Moellon calcaire blanc beige	2,52				50,0	4,4
460 3G	0.70 - 0.80 m	Moellon calcaire blanc beige	2,18					2,8
465 3D	0.10 - 0.30 m	Moellon calcaire blanc beige	2,43		24 941	0,17	38,4	
465 3G	0.05 - 0.25 m	Moellon calcaire blanc beige	2,34		24 089	0,15	43,7	
465 6D	0.03 - 0.13 m	Moellon calcaire blanc beige	2,15					2,0
465 3D	0.11 - 0.21 m	Moellon calcaire blanc beige	2,26					3,5
475 7D	0.27 - 0.37 m	Moellon calcaire blanc beige	2,19					3,1
Nombre de valeurs			8	0	2	2	4	6
<b>ANALYSE MACONNERIE MIXTE</b>			2,2		24 089	0,15	38,4	2,0
minimum :			2,7		24 941	0,17	50,0	4,9
maximum :			2,3		24 515	0,16	45,1	3,3
médiante :			0,2		603	0,01	4,9	1,1
E cart type			<b>2,35</b>		<b>24 515</b>	<b>0,16</b>	<b>44,6</b>	<b>3,4</b>
moyenne :								
<b>MACONNERIE MIXTE</b>								
460 3G	0.30 - 0.50 m	Maçonnerie mixte (Moellons et mortier beige)	2,04		9 966	0,08		5,8
465 7G	0.50 - 0.60 m	Maçonnerie mixte (Moellons et mortier beige)	1,95					1,3
462 3D	0.10 - 0.30 m	Maçonnerie mixte (Moellons et mortier beige)	2,18		26 400	0,19	3,6	
Nombre de valeurs			3		2	2	2	1
minimum :			2,0		9 966	0,08	3,6	1,3
maximum :			2,2		26 400	0,19	5,8	1,3
médiante :			2,0		18 183	0,14	4,7	1,3
E cart type			0,1		11 621	0,08	1,6	-
moyenne :			<b>2,1</b>		<b>18 183</b>	<b>0,14</b>	<b>4,7</b>	<b>1,3</b>

# Etudes / conception

## Reconnaitances, suivi instrumenté

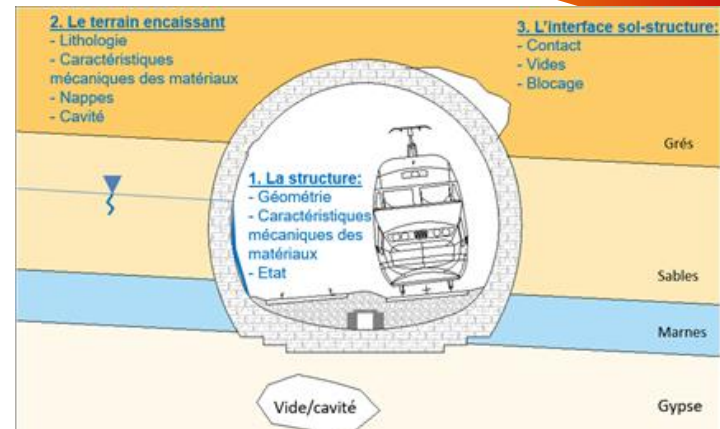
Les reconnaissances ont plusieurs objectifs :

- Caractériser l'ouvrage (maçonnerie, radier, etc.) et le massif encaissant
- Fournir les données d'entrée nécessaires à la conception et au dimensionnement (modélisation)
- Optimiser les coûts des projets

Attention : les mêmes contraintes d'intervention en milieu ferroviaire s'appliquent à la réalisation des reconnaissances !

Le suivi instrumenté est principalement utilisé en phase de diagnostic mais aussi durant la conception dans certains cas particuliers :

- Mesures de convergence
- Suivi des fissures
- Mesures inclinométriques
- Etc.



# Etudes / conception

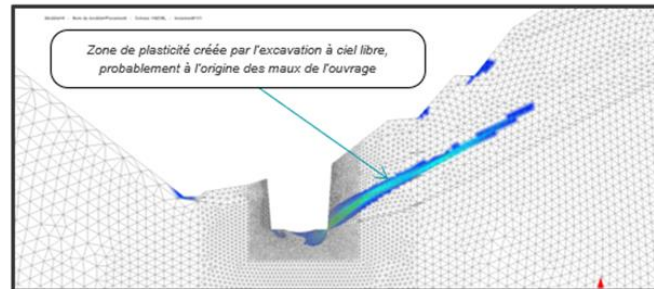
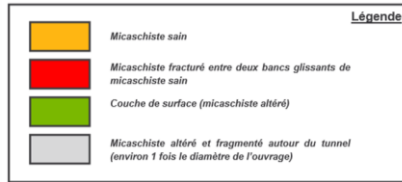
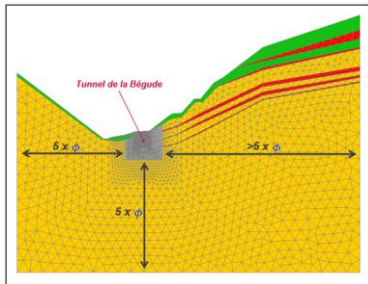
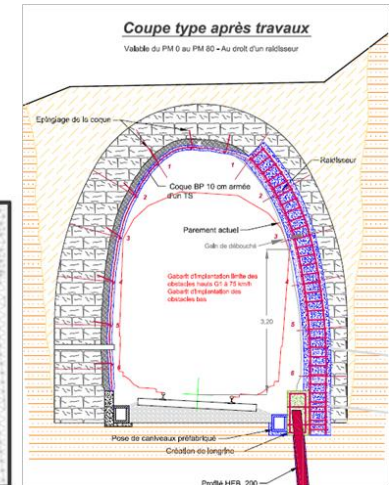
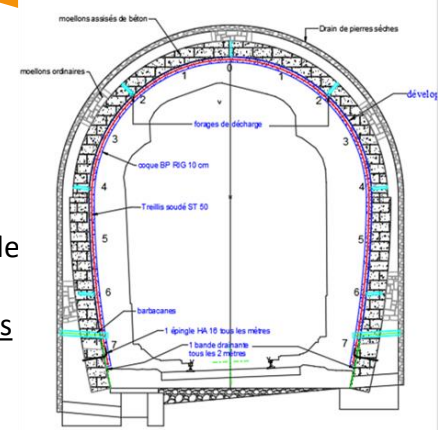
## Dimensionnement

### Application de solutions travaux « type » dans les cas simples (sans calcul)

- Pour partager les infrastructures ferroviaires afin de satisfaire aussi bien les besoins fonctionnels de l'exploitation que ceux de la maintenance
- Par une approche technico-économique permettant de minimiser l'impact sur les circulations mais aussi sur le coût des travaux

### Calculs et dimensionnement par modélisation aux éléments finis dans les cas complexes

- Retrouver l'état de contraintes actuel de l'ouvrage en tenant compte de toutes les informations disponibles : données de construction, historique, travaux passés, relevés d'avaries, investigations et instrumentation, etc.
- Simuler les travaux envisagés en tenant compte du phasage, afin de dimensionner les structures de renforcement nécessaires et de vérifier leur stabilité en phases provisoires et leur tenue à long terme





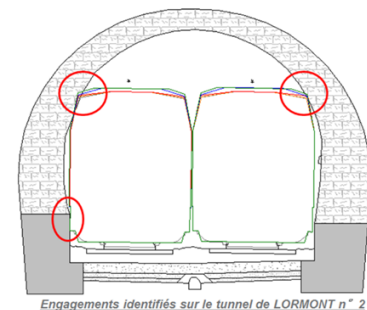
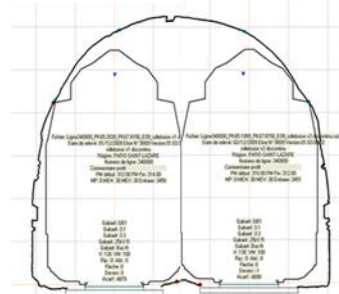
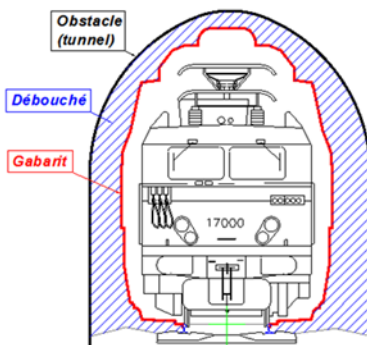
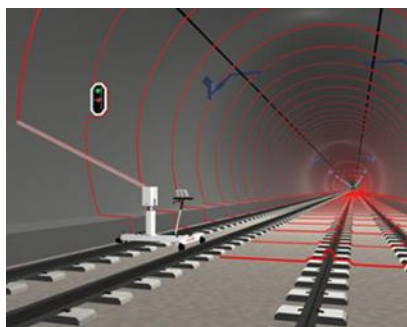
# Etudes / conception

## Etude géométrique

Principe d'une étude géométrique : calculer, profil par profil, les marges (ou bien les engagements) disponibles entre les gabarits limites d'obstacle et l'intrados du revêtement

Le contrôle du débouché des ouvrages est réalisé à l'aide de l'engin ELISE (Engin Léger Informatisé pour la Simulation des Engagements de gabarit) :

- Engin lorry léger démontable, déplacé sur la voie par un opérateur
- Système de télémètre laser permettant de relever en continu les obstacles sur tout le développé, simuler les gabarits, visualiser les engagements, etc.

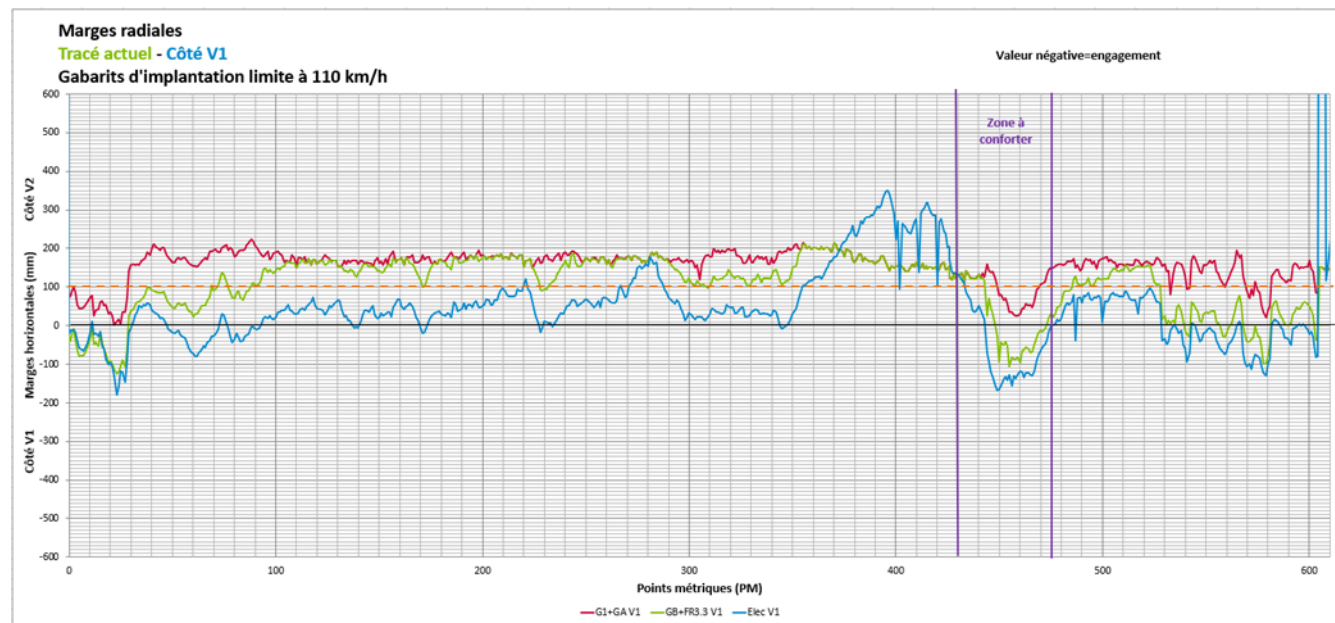
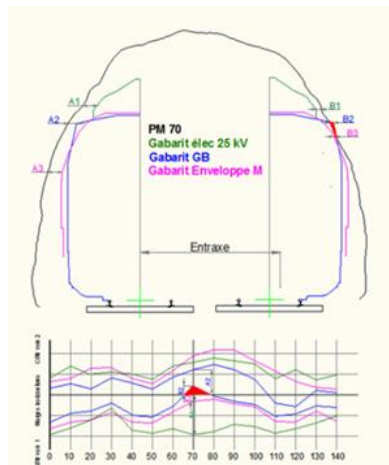


# Etudes / conception

## Etude géométrique

### Résultats d'une étude géométrique :

- Marges ou engagements horizontaux, radiaux et verticaux
- Entraxes



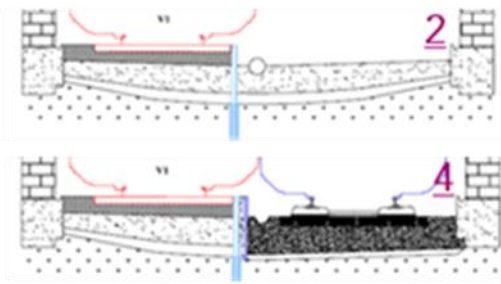
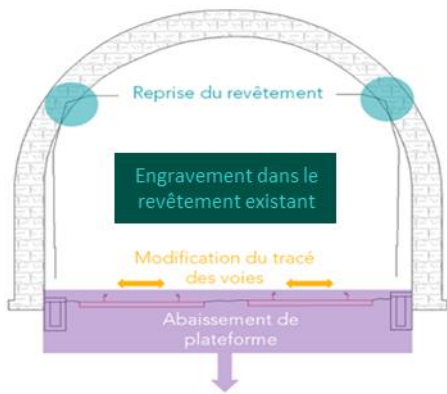
# Etudes / conception

## Choix techniques et définition des solutions travaux

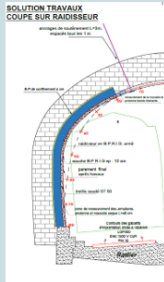
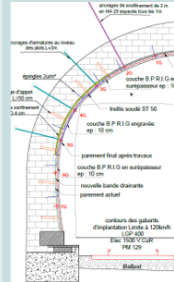
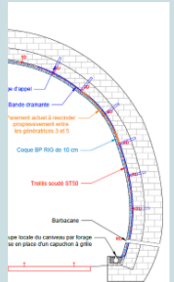
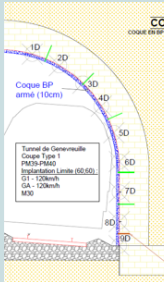
Solution de base (solution travaux « type ») = ajout d'une structure de renforcement en surépaisseur (coque en Béton Projeté)

En cas de problématique de débouché, si la structure de renforcement ne peut pas être inscrite en surépaisseur, il existe 3 familles de solutions envisageables :

- Modification du tracé de voies : pas toujours possible (place disponible en entraxe, cf. étude géométrique)
- Engrèvement de la structure de renforcement avec reprise du revêtement en voûte : plusieurs typologies de travaux
- Travaux d'abaissement de plateforme : souvent très contraignants et nécessitant un phasage précis et des travaux préliminaires importants



La maintenance des tunnels ferroviaires

Travaux « type »	Coque engravée avec raidisseurs	Coque engravée par plots	Coque BP avec rescindement sec préalable et rejointoiment	Coque BP en surépaisseur
Marge disponible ou valeur d'engagement *	Engagement 10 à 20 cm	Engagement 5 à 10 cm	Engagement 0 à 5 cm	Marge 10 cm mini
Descriptif sommaire	Coque BP engravée avec ancrages préalables et raidisseurs de 0,5x0,5 cm espacés de 1,5 à 2,0 m	Coque BP engravée avec ancrages préalables et plots de 1,5 m de largeur	Rejointoiment systématique du fond de fouille avant mise en œuvre de la coque	Coque BP 10 cm mise en œuvre en surépaisseur du revêtement actuel avec treillis soudé + épinglage + drainage si besoin
Schéma de principe				
* nota : les valeurs d'engagement sont données à titre indicatif				

# Etudes / conception

## Estimation coût / délai

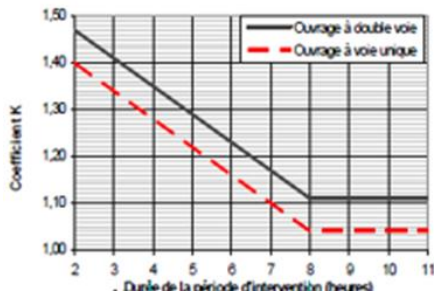
### Planning

- Réaliser un quantitatif des travaux
- Définir le phasage et les cycles d'exécution (rendement unitaire) compte tenu des choix techniques, des conditions EXE et des contraintes multi métier (caténaire, signalisation, hydraulique, etc.)

### Montant des travaux entreprise extérieure GC OA travaux en Tunnel

- Majoration des prix unitaires pour prendre en compte :
  - les conditions d'EXE (durée du temps de travail effectif, longueur du tunnel, nombre de voies, tunnel électrifié ou non, etc.)
  - la période de travail (jour / nuit / week end)

## Majoration de 40 à 60 % pour des travaux sous ITC de nuit



### Travaux de confortement du tunnel de VIADES

#### Annexe 1.1 Planning OPTION A

**Conditions d'interventions:**  
 • 4 nuits avec 6h de travail effectif  
 • Travaux sous ITC simultanés sur les deux voies pendant toute la durée des travaux

Tunnel de VIADES	L'ORBITON n° d'exécution	TRAVAUX de nuit	18 semaines																			
			Quantités	Temps de nuit	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18
<b>I. Installation et protection de plateforme</b>																						
<b>II. Coque en BP du PM 430 au PM 475</b>																						
<b>Travaux côté Voie 2:</b>																						
Ancrages en clé 141 ml 0,3 semaines																						
<b>Travaux préparatoires:</b>																						
Décapage 210 m <sup>2</sup> 0,4 semaines																						
Ancrages 486 m <sup>2</sup> 0,4 semaines																						
<b>Coque BP engravée</b>																						
Sciage vertical 213 ml 0,3 semaines																						
Fraisisseurs 24 u 0,1 semaines																						
Plots entree raidisseurs 23 u 0,1 semaines																						
Treillis soudé (y compris épingleage) 395 m <sup>2</sup> 0,2 semaines																						
Béton projeté R10 G 10 cm 395 m <sup>3</sup> 0,4 semaines																						
<b>Travaux côté Voie 1:</b>																						
<b>Travaux préparatoires:</b>																						
Ancrages 210 m <sup>2</sup> 0,4 semaines																						
Décapage 486 m <sup>2</sup> 0,4 semaines																						
<b>Coque BP engravée</b>																						
Sciage vertical 213 ml 0,3 semaines																						
Fraisisseurs 24 u 0,1 semaines																						

Région de MONTPELLIER LC : 2018 DOS 033775 du 22 juin 2020 Ligne N° 677 000 Travaux 2020 Groupement COLAS RAIL RTS	Tunnel de Cerbère (171 m) Ligne 677 - UIC 4	Confortement par coque BP sur 08ml Tunnel Voie unique électrifiée Logistique Routière ou RR 2 chantiers
--	--	--

	Prix Objectif		Marché		Ecart	%	Coûts unitaires Marché (y compris installations de chantier)
	janv-20	mars-20	janv-20	mars-20			
<b>Cerbère - 2020</b>							
<b>1 - Installation de chantier et travaux préparatoires</b>	139 655 €	75 580 €	-45,88%	81%	1,94		
Installation de chantier	103 035 €	62 500 €	-39,34%	1	121 249 €		
Ventilation (y compris fourniture d'appareils)	2 035 €	3 000 €	+47,42%	1	5 820 €		
Protection de la plate-forme	18 312 €	4 000 €	-77,83%	1200	10 € / m <sup>2</sup>		
Protection des installations électriques	10 173 €	2 500 €	-75,43%	1	4 850 €		
Simulateur de gabarit	6 100 €	1 580 €	-74,30%	1	3 065 €		
<b>2 - Coque BP (Ecaillé TG-4.5D PM136.5-143)</b>	22 384 €	29 821 €	+33,20%	50	1 002 € / m <sup>3</sup>		
Ancrage	3 663 €	3 060 €	-16,46%	36	165 € / ml d'ancrage		
Grillage antichute de blocs (treillis soudé)	1 577 €	1 940 €	+23,02%	70	34 € / kg		
Décapage	2 289 €	3 000 €	+31,06%	150	39 € / m <sup>2</sup>		
Confinement BP RIG 4 cm	3 816 €	3 400 €	-11,38%	50	132 € / m <sup>3</sup>		
Épingleage en base de coque HA16	2 264 €	625 €	-72,38%	45	27 € / m <sup>2</sup>		
Épingleage en voûte HA10	8 775 €	13 800 €	+57,28%	575	47 € / m <sup>2</sup>		
<b>4 - Coque en BP RIG</b>	39 430 €	34 250 €	-13,34%	150	443 € / m <sup>3</sup>		
Couche finale en BP	29 762 €	25 500 €	-14,32%	150	170 € / m <sup>3</sup>		
<b>5 - Drainage</b>	8 444 €	7 910 €	-6,32%	110	140 € / ml		
Bandes drainantes	8 444 €	7 910 €	-6,32%	110	140 € / ml		
<b>11 - Divers et Essais</b>	14 650 €	12 420 €	-15,22%				
Plan d'assurance de la qualité et du respect de l'environnement	2 035 €	1 400 €	-31,20%	1	2 716 €		
Étude d'exécution OA	2 035 €	2 425 €	+19,38%	1	4 704 €		
Dossier de récolement pour les travaux de confortement des OA	2 035 €	1 600 €	-21,38%	1	3 104 € / m <sup>2</sup>		
Essai de contrôle de la résistance à la compression à 3h sur BP RIG	5 697 €	2 580 €	-54,73%	4	1 251 € / Essai		
Essai de contrôle de résistance à la compression simple 7 ou 28 jours	1 017 €	890 €	-12,49%	2	863 € / Essai		
Essai de validation du BP RIG en laboratoire (Rc 30)	354 €	1 475 €	+316,39%	1	2 861 € / Essai		
Essai d'identification d'un BP RIG en laboratoire	1 017 €	1 800 €	+76,98%	1	4 492 € / Essai		
Sondages au carottier - jusqu'à 100 mm inclus	458 €	250 €	-45,42%	1	485 € / ml		
<b>TOTAL</b>	<b>224 563 €</b>	<b>155 985 €</b>	<b>-30%</b>	<b>8</b>	<b>19 498 € / ml de tunnel</b>		
<b>TOTAL hors installation de chantier</b>	<b>121 528 €</b>	<b>93 495 €</b>	<b>-23%</b>	<b>8</b>	<b>11 686 € / ml de tunnel</b>		
Travaux préparatoires de 22h à 05h - Lu/Me à Ve/Sa (5j/semaine) - 7h/jour	kx7 1,36						
Travaux principaux de 8h à 18 h - Lu/Ve (5j/semaine) - 4h effectives/jour	durée 06 semaines						

# 04

## Techniques travaux

# Techniques travaux

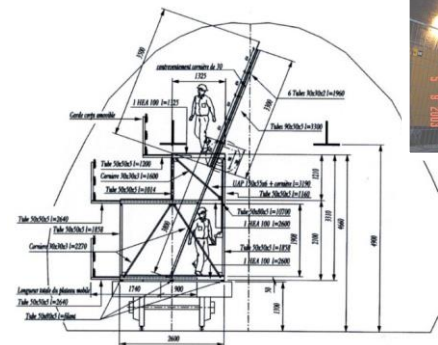
## Logistique et train travaux (TTX)

Conditions d'intervention et logistique parfois différentes selon :

- Travaux préparatoires : réalisés avant la phase de chantier principale
- Travaux préalables : nécessaires à la réalisation des travaux principaux
- Travaux principaux
- Travaux connexes : autres métiers (dévoisement équipements...)

### Train travaux (TTX)

Permet d'embarquer et d'amener tout le matériel et matériaux nécessaires au chantier



# Techniques travaux

## Travaux préparatoires et préalables

### Concernent essentiellement :

- La protection des équipements ferroviaires existants
- La protection de la plateforme en voies ballastées
- La mise en état de recette du parement (décapage avec ou sans sablage, purges...)



Protection équipements  
Tunnel de Harfleur



Hydrodécapage



Protection de plateforme – Tunnel de la Nerthe

# Techniques travaux

## Les interventions structurales les plus courantes

➤ **Rejointement des maçonneries** : pour restituer aux maçonneries leur monolithisme après disparition partielle ou totale du mortier

➤ **Injections**

- internes dans le corps de maçonnerie : altération des joints, fissures, joints de maçonnerie
- d'extrados à l'interface terrain-revêtement : combler les vides, étanchement du revêtement

➤ **Béton projeté RIG (BP à résistance initiale garantie) (voie sèche)**

méthode de renforcement très souple d'emploi et efficace. Le BP RIG développé par la SNCF pour les conditions particulières d'intervention en tunnels et sur voies exploitées (1ère utilisation dans le tunnel de St Maur à Rouen en 1989)

- résistance initiale garantie de 3MPa à 3h
- résistance mini par temps froid (> 2°C)
- bonne adhérence sur support mouillé
- aucune fissuration à terme
- durabilité : la durée de vie est > 30 ans (REX sur les chantiers '90)

L'utilisation du BP RIG permet :

- Rétablissement des circulations 1h après projection (contre 7h)
- Projection sur interception de voie de courte durée
- Ralentissement à 80 km/h à la reddition de la voie (à 40km/h avec BP ordinaire)



**Béton projeté RIG conçu spécifiquement pour l'environnement tunnel sur voies exploitées**



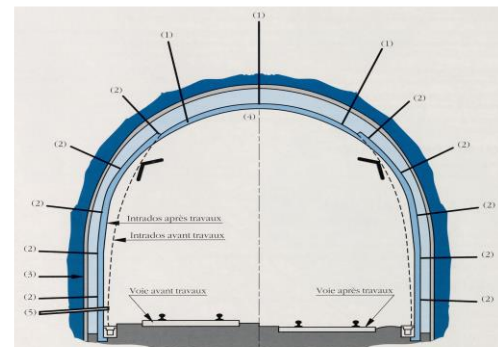
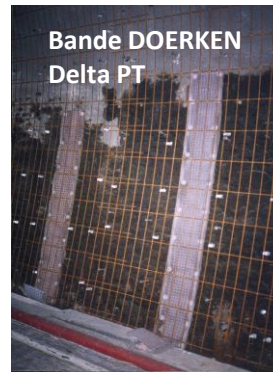
# Techniques travaux

## Coques en béton projeté (BP) armé

La coque en BP armée est mise en œuvre en :

- surépaisseur, si le débouché le permet
- en substitution partielle au revêtement initial (travaux permettant un gain de débouché).

Associée à un dispositif de captage – drainage (bandes drainantes, forages d'appel, barbacanes) pour le drainage et la collecte des eaux.



## Tunnels avec revêtement maçonné

La coque BP permet d'assurer une protection du parement contre l'altération et l'humidité et elle a un rôle structurel de renforcement

## Tunnels non revêtus

La coque BP fibrée associée à des ancrages assure :

- La sécurisation vis-à-vis de la chute de blocs
- Le confinement du terrain rocheux en limitant les décollements et protection contre l'altération (oxydation), l'humidité ambiante



# Techniques travaux

## Travaux permettant un gain de débouché - Reprises en voûte

Reconstruction en béton projeté RIG armé (gain de débouché entre > 5 cm)

- Sciage préalable de la structure : permet de circonscrire la démolition et limiter les vibrations
- Démolition effectuée à l'aide d'une machine d'abattage à attaque ponctuelle
- Phasage spécifique de démolition et reconstruction :
  - Démolitions de petites parties, plots alternés
  - Création de raidisseurs pour la stabilité des phases provisoires

Travaux « type »	Coque engravée avec raidisseurs	Coque engravée par plots	Coque BP avec recintement sec préalable et rejointement	Coque BP en surepasseur
Marge disponible ou valeur d'engagement *	Engagement 10 à 20 cm	Engagement 5 à 10 cm	Engagement 0 à 5 cm	Marge 10 cm min
Descriptif sommaire	Coque BP engravée avec ancrages préalables et raidisseurs de 0,5x0,5 cm espacés de 1,5 à 2,0 m	Coque BP engravée avec ancrages préalables et plots de 1,5 m de largeur	Rejointement systématique du fond de fouille avant mise en œuvre de la coque	Coque BP 10 cm mise en œuvre en surpasseur du revêtement actuel avec treillis soudé « dégrillage » drainage si besoin
Schéma de principe				
* nota : les valeurs d'engagement sont données à titre indicatif				



Sciage



Démolition



Armature raidisseur



Phasage spécifique

# Techniques travaux

## Nouvelles techniques en développement

### Reconstruction du revêtement sous exploitation

Deutsche Bahn : Plusieurs tunnels en Allemagne avec remplacement total du revêtement à l'abri d'un portique (pour tunnels double voie)

Avantages : maintien des circulations en VUT, reconstruction à neuf du tunnel

Etudes en cours de lancement pour le projet Autoroutes Ferroviaire Vosgien

- NOTA : Compatibilité technique et économiques à étudier au cas par cas

### Béton Fibré Ultra haute Performance (BFUP) projeté au lieu de BP RIG

Permettrait des gains d'épaisseur et la suppression de zones de rescindement

- NOTA : Economie, résistance, durabilité et adaptabilité au milieu souterrain ferroviaire à confirmer.

### Emploi du BP fibré dans les raidisseurs en lieu et place des armatures

Projet de recherche et mis en œuvre dans des chantiers test.

- Avantage : délai d'installation des armatures
- NOTA : Résistance et durabilité à confirmer.



Projections de BFUP sur une buse métallique

# Techniques travaux

Des exemples d'accidents pendant des travaux



Venue importante de terrain à l'arrière du revêtement lors de travaux dans le tunnel de Caluire – mars 2019



Venue importante de terrain sur le train travaux lors de travaux de création de raidisseurs dans le tunnel de Montmedy – juillet 2016



Effondrement lors de travaux dans le tunnel de Moriez (Chemins de fer de Provence) – février 2019 – 1 mort



Rapprochement important des pénétrations (jusqu'à 50cm) dans le tunnel de Bolozon 2 – juin 2008

# Conclusion

## Points importants vis-à-vis des travaux en tunnel ferroviaire

### Tunnels du patrimoine = ouvrages à risque

- Structures anciennes dans un état dégradé
- Incertitudes sur les charges et l'environnement – aléas géotechniques
- L'ouvrage peut comporter des défauts localisés non décelés à l'inspection/reconnaitances

### Phases de conception

- Anticipation : démarrer le projet (phase étude préliminaire) à A-5 ou A-8 (bonnes connaissances de l'ouvrage / reconnaitances)
- Apprécier le coefficient de sécurité de l'ouvrage à l'état initial et sa marge disponible (dimensionnement, méthodes travaux)
- Modélisation numérique : oui, si nécessaire seulement
- Etude géométrique : étape indispensable
- Logistique (TTX vs R/R...) et conditions d'exécution (durée des interceptions, avec ou sans circulations commerciales sur voie contigüe)

### L'intervention structurelle

- Recours à des entreprises spécialisées et qualifiées (système de qualification SNCF)
- Ouvrage en charge et fragilisé par l'intervention
- Renforcement préalable de la structure (injections d'extrados, ancrages, coque BP...)
- Conduire les travaux par petites parties et plots alternés: affaiblissement/effet tridimensionnel

**Merci**  
de votre attention