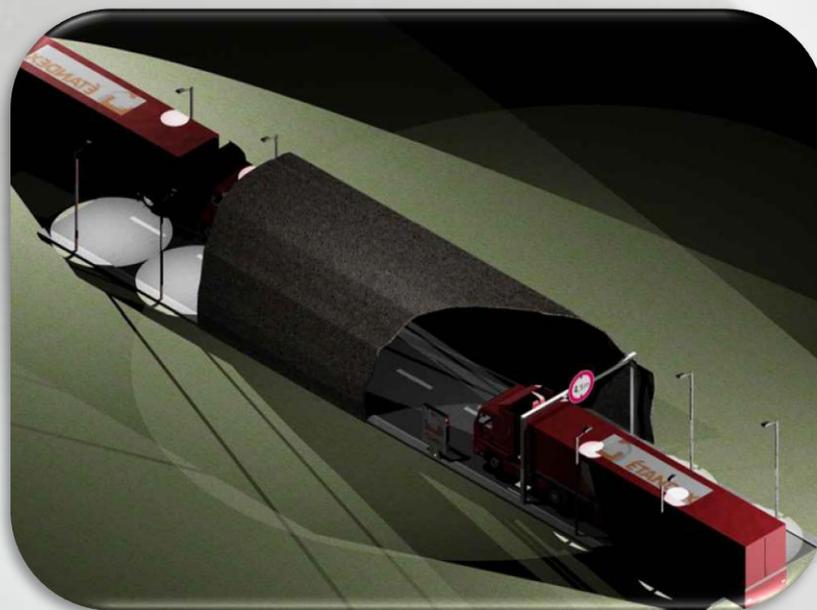


# Techniques d'étanchéité innovantes en tunnel : Le projet ECOMINT



- *Lauréat de l'appel à projets d'innovation routière SETRA*
- *Lauréat du Trophée TP 2015 catégorie « Innovations Techniques et Recherche »*

# ECOMINT : Etanchéité par COques MINces des Tunnels

Problématiques occasionnées par les venues d'eau dans les tunnels :

- *Dégradations des ouvrages :*
  - *Les venues d'eau sont identifiées comme l'une des principales causes de dégradation des tunnels, pour le Génie Civil comme pour les équipements*
- *Confort/Sécurité :*
  - *L'eau sur la chaussée, le gel en voûte (stalactites) et sur la chaussée (verglas) sont dangereux pour les usagers*
  - *Les salissures sur les piédroits (coulures + pollution) nuisent à la visibilité et à l'efficacité de l'éclairage*
- *Coûts d'entretien et d'exploitation élevés :*
  - *Intervention de l'exploitant pour enlèvement du verglas (ex : rabotage au tunnel des Echelles) et enlèvement des stalactites*
  - *Difficulté d'entretien des parements (encrassement), nettoyabilité dégradée*

# Etat de l'art : solutions de traitement

- Solutions d'étanchéité complète
  - *Re-chemisage par coques béton indépendantes avec interposition d'une membrane d'étanchéité*
    - *Coulé en place : ex Tunnel des Monts, Tunnel de la Croix Rousse,*
    - *Coque indépendante autoportantes en Béton Projeté : ex tunnel de Fort l'Ecluse, Tunnel des Montets*

## difficultés et inconvénient :

- *conservation du gabarit,*
- *travaux longs et coûteux (alésage, décaissement, coulage du béton ou BP),*
- *pertes d'exploitation (tunnel fermé), gestion du trafic durant les travaux*
- *Incompatibilité avec des solutions de béton projeté minces nécessitant des ancrages,*

- Solutions d'étanchéité complète ou partielle :

- *Tôle parapluies ou revêtements plaqués*

- difficultés et inconvénient :

- *conservation du gabarit,*
- *Adaptation difficile à la géométrie des ouvrages (tunnels au rocher)*
- *Adaptation difficile avec les équipements en place ou à venir*
- *Inaccessibilité du parement à l'intrados et fragilité en cas de rupture (écailles de béton ou rocher)*

- **Solutions d'étanchéité partielle :**

- *Traitements ponctuels curatifs (+ confortatifs)*
- *Injections de résine*
- *Systèmes de drainage*
- *Pontages confortatifs*

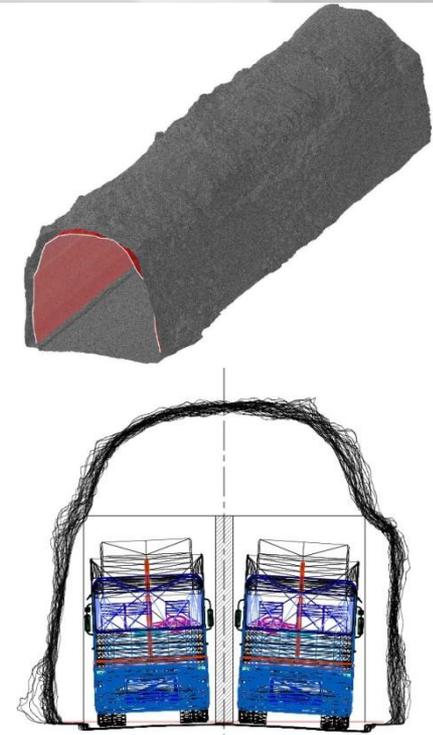
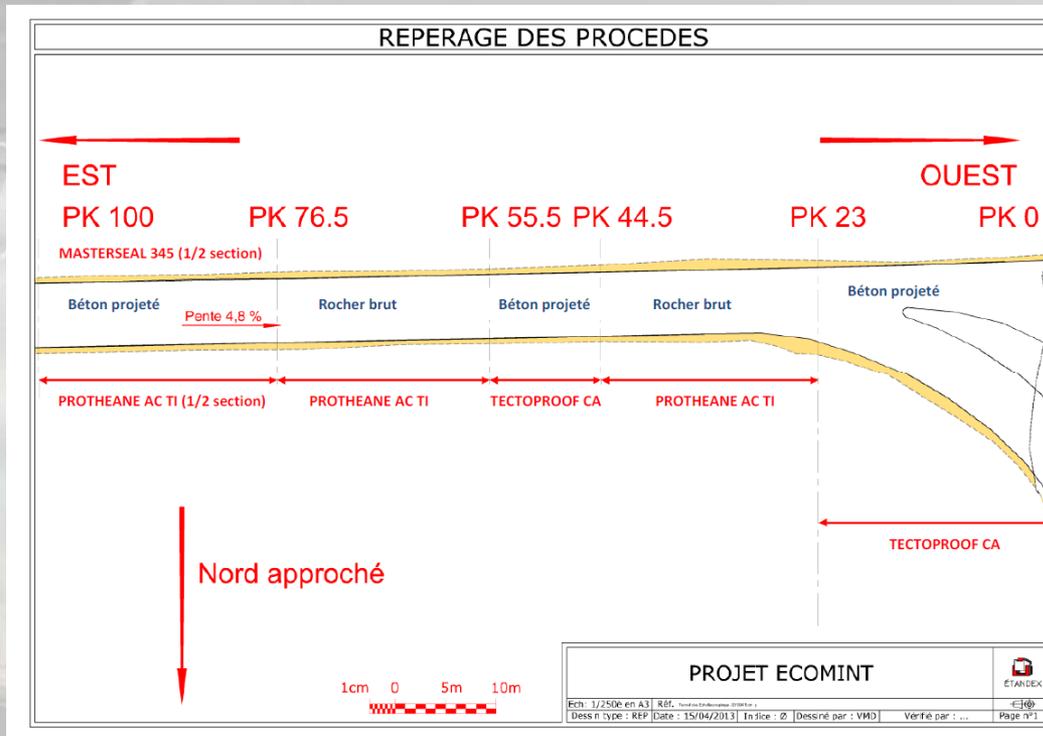
**difficultés, inconvénients et limites:**

- *Travaux ponctuels réalisés sur des ouvrages souvent évolutifs  
=> campagnes régulières*
- *Garanties limitées aux zones traitées et suivant nature et qualité des traitements confortatifs*
- *Réservées aux dégradations de faible ampleur, identifiées et localisées*
- *Hétérogénéité des parements finis*

- **Enjeux du projet ECOMINT :**
  - *Proposer des solutions d'étanchéité par coques minces intrados pouvant s'appliquer à toutes les configurations d'ouvrages.*
- **Caractère innovant du projet :**
  - *Etanchéité garantie, totale et pérenne*
  - *Solution mince (sans nécessité de mise au gabarit)*
  - *Adaptabilité aux géométries variables et à toutes les typologies d'ouvrage*
  - *Limitation des perturbations de l'exploitation*
  - *Solutions plus économiques de 30 à 50% par rapport aux solutions classiques d'étanchéité*

# Tunnel des Echelles, 1<sup>ère</sup> expérimentation de 3 procédés sur les 100 premiers mètres

⇒ Mixité de solutions adaptées à chaque configuration existante du tunnel

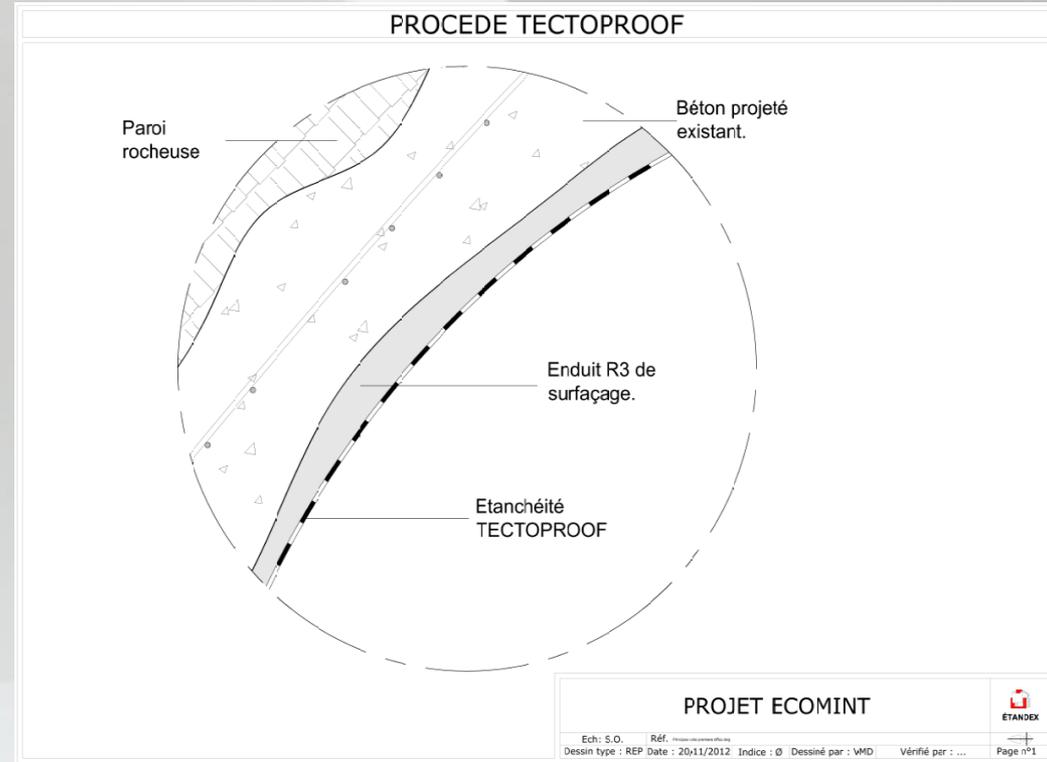


# Solution **TECTOPROOF CA** :

Coque adhérente composite verre/époxy



- Coque adhérente
- Ultramine ( $\approx 3$  mm)
- Composite verre/époxy
- Epaisseur système complet (Enduit + Etanchéité)  $< 3$ cm

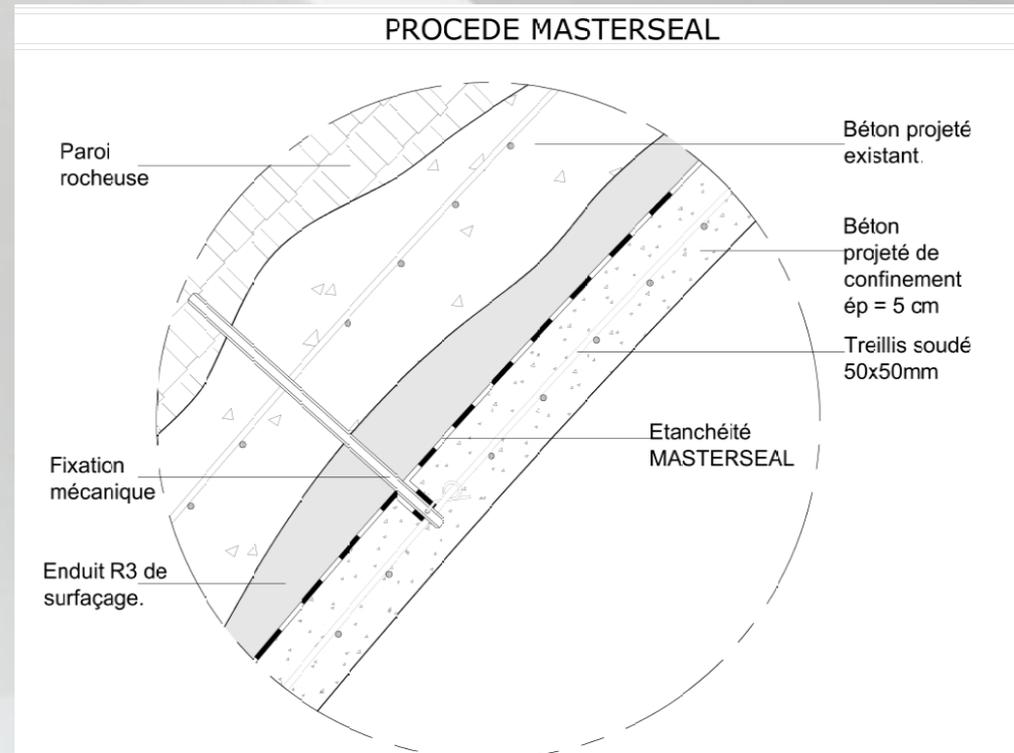


# Solution **MASTERSEAL** :

MASTERSEAL® 345

## Coque adhérente système « sandwich »

- Coque adhérente mince
- Etanchéité projetée
- « Système sandwich » : Support/Etanchéité/Béton projeté armé de confinement et protection
- Epaisseur du système complet < 10 cm

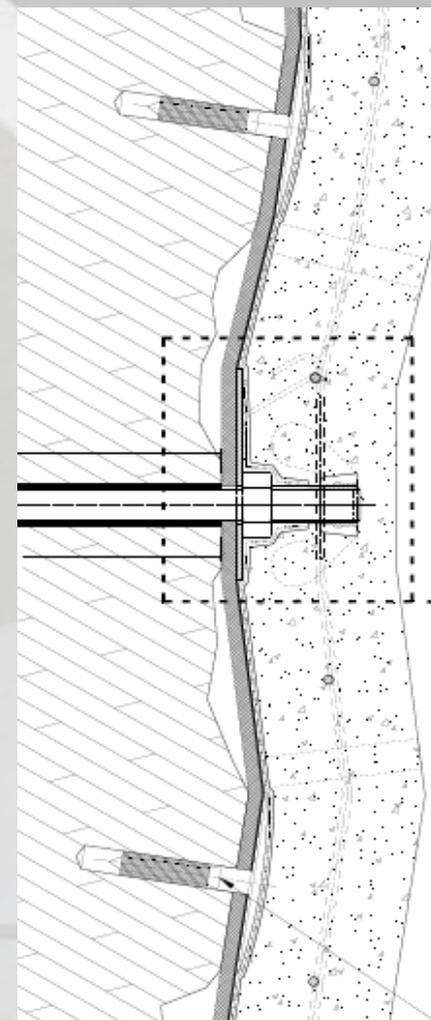


# Solution **PROTHEANE AC TI** :

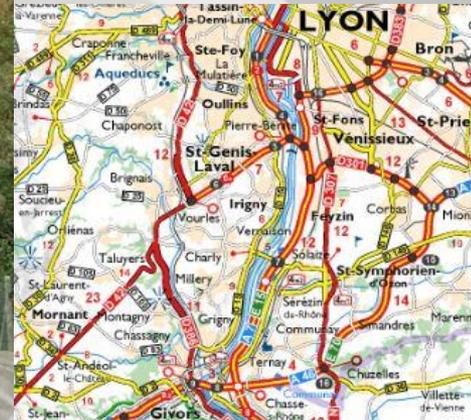
Coque semi-indépendante drainée



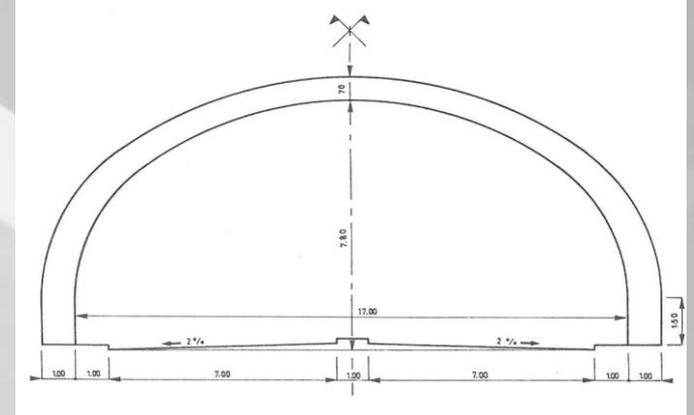
- Coque semi indépendante
- Sur nappe drainante
- Etanchéité polyuréthane projetée à chaud
- Prise instantanée
- Protection par 5 cm de béton projeté armé
- Epaisseur du système complet < 10 cm



# Tunnel de Rive de Gier : Aboutissement du projet Ecomint et du procédé TECTOPROOF CA



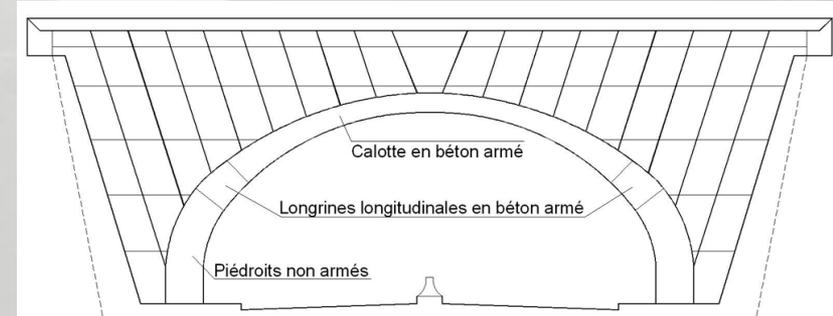
# Caractéristiques géométriques



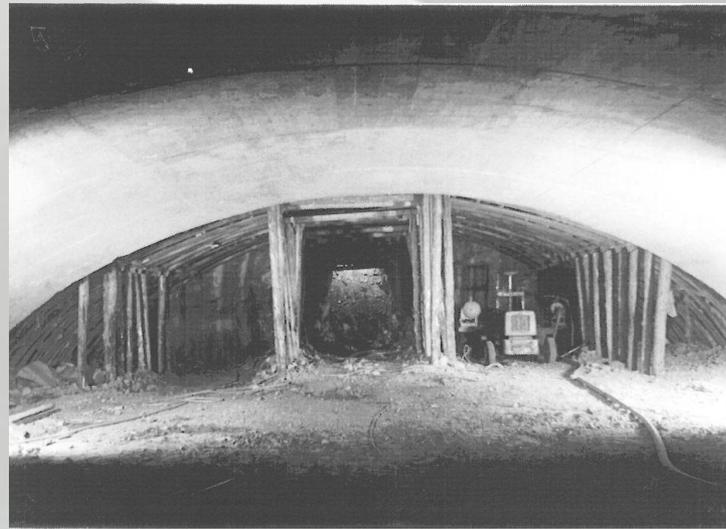
- Longueur 82 mètres
  - un des plus courts tunnels sur autoroute
- Largeur entre pénétrations 17 mètres
  - profil en travers réduit pour une autoroute
- Voûte elliptique  $R=8,5$  m sur pénétrations  $H=1,50$  m
  - hauteur libre sous ouvrage faible
  - ferrailage prévu à la conception, renforcé lors de la construction...

# Historique de la construction

- Tunnel construit en 1962-1963
  - pas d'étanchement de l'extrados
- Éboulements à la construction
  - boisages pour combler les vides
  - doublement des aciers par zones
- creusé et revêtu par demi-sections horizontales,
- calotte constituée de 41 plots de 2 mètres en béton armé ( $\text{Ø}20/25$ ), appuyés sur des longrines longitudinale en béton armé également
- Piédroits en béton non armé construits en sous-œuvre par plots alternés



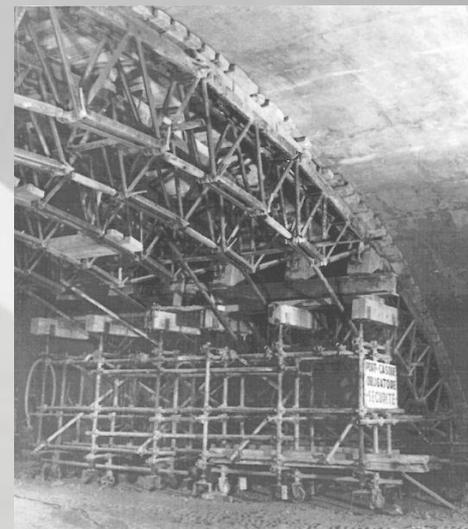
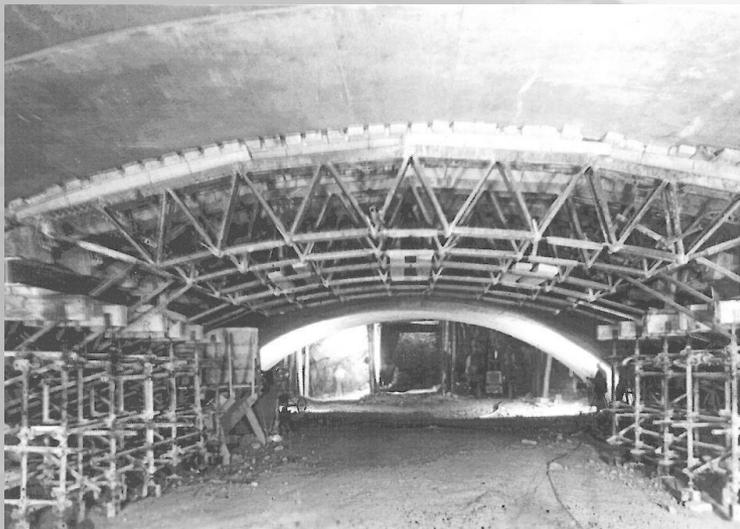
=> La première origine des désordres de l'ouvrage



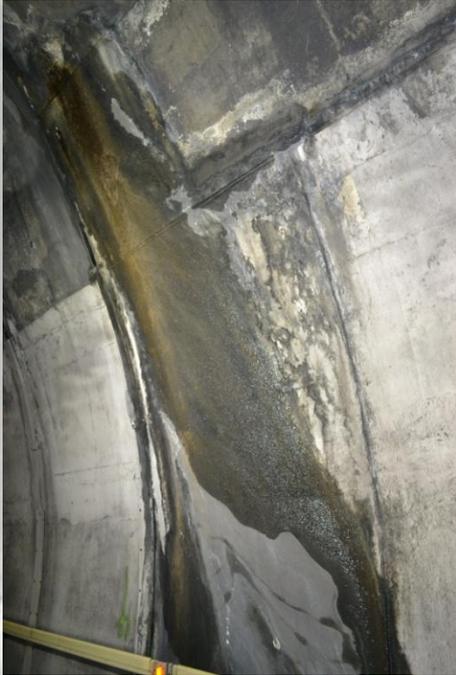
Le creusement de  
la demi-section supérieure



## Le bétonnage et le creusement des pénétrants



# Les désordres : des venues d'eau.....



et des stalactites l'hiver



des sons creux .....



des écailles qui tombent....

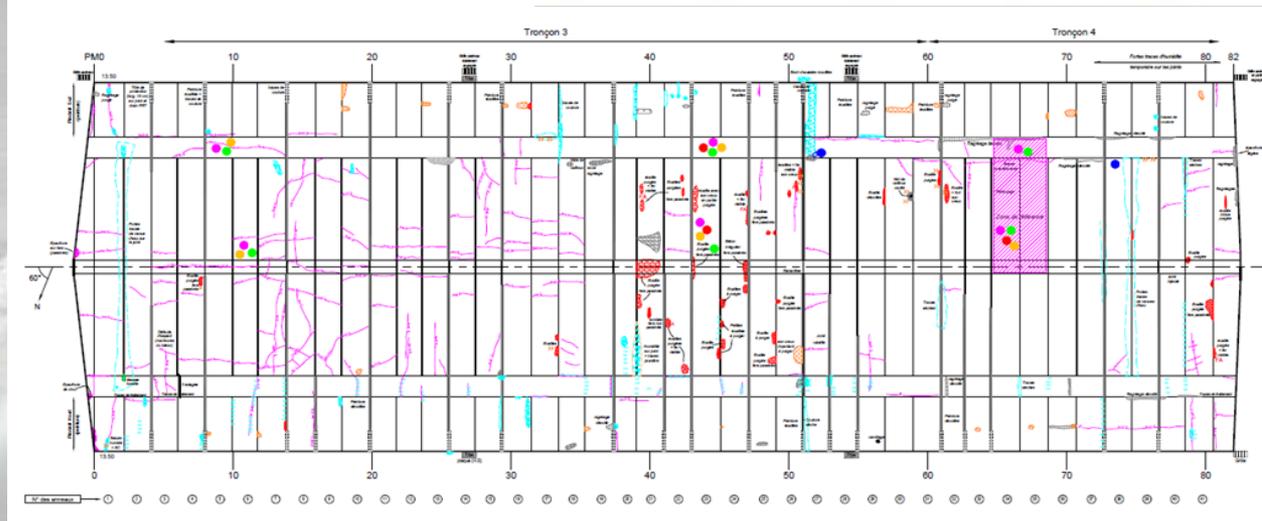
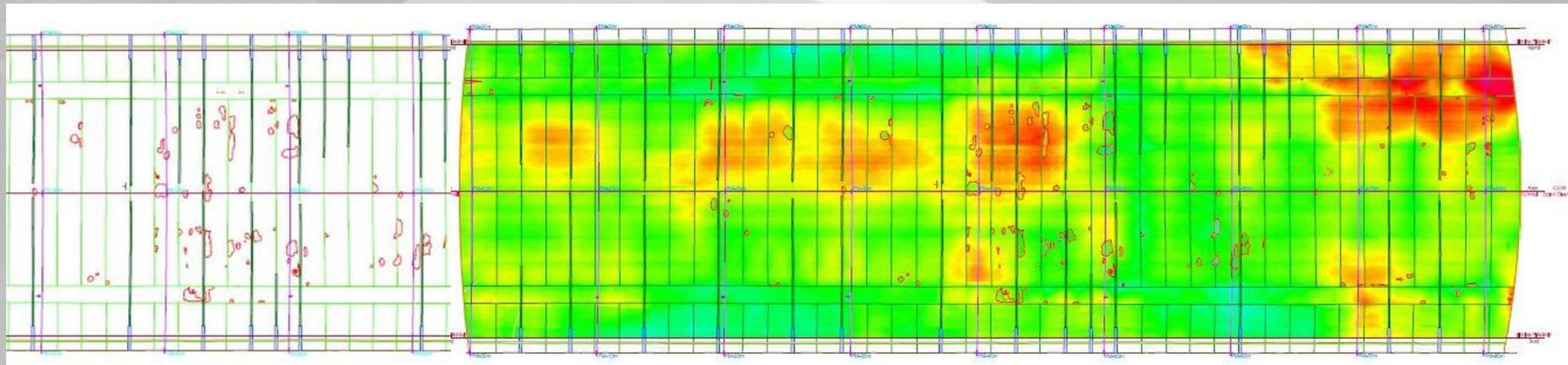


et des fers apparents



Nécessitant des interventions régulières en hiver et des campagnes de purge à réaliser sur autoroute à fort trafic

# Le diagnostic



Scanner 3 D et  
relevé des désordres

# Essais mécaniques et physico-chimiques



Carottage



Analyse d'eau



Cohésion superficielle

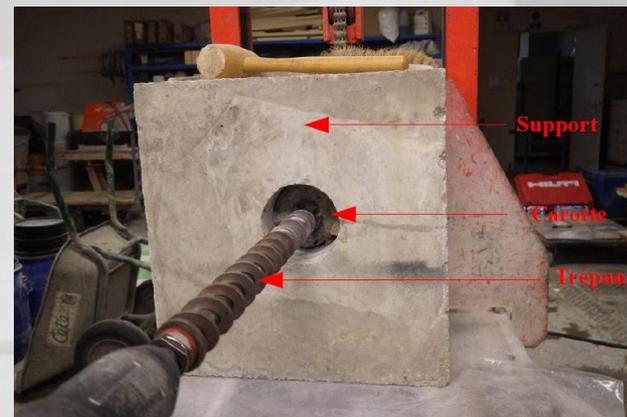
Compression



Carbonatation



Chlorures



# Conclusions et solutions de réparations

- Caractéristiques mécaniques acceptables : Rc 30 Mpa, cohésion superficielle > 1,5 MPa
- la porosité du béton est relativement élevée (environ 20%) et en particulier dans la zone identifiée comme très dégradée ;
- Peu ou pas de chlorures ;
- Enrobage des armatures est insuffisant en clé : <3 cm et front de carbonatation variable et supérieur à l'enrobage

**Les travaux de réparation doivent remplir trois fonctions :**

- réparer le revêtement béton et reconstituer l'enrobage des aciers dans un béton sain, et stopper la chute d'écailles
- étancher totalement l'ouvrage et de façon pérenne
- stopper définitivement les dégradations liées à la carbonatation.

# Contraintes

## - Pas de gabarit disponible

➔ maintien de la hauteur libre actuelle de l'ouvrage, soit une épaisseur de réparation inférieure à 1 centimètre

## - Travaux sur autoroute à fort trafic à caractère pendulaire

➔ maintien de la circulation en journée sans dégradation du niveau de service

## - Déviation du trafic (notamment PL) la nuit dans Rive de Gier

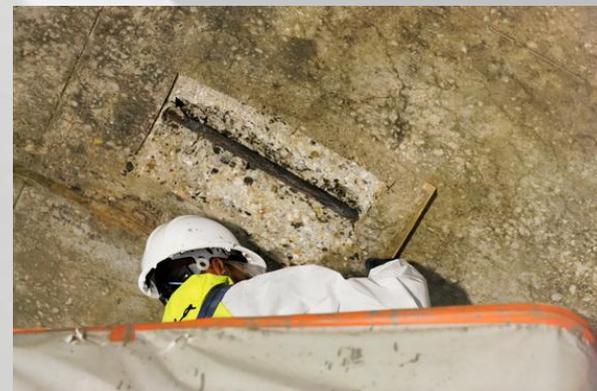
➔ limitation et respect strict du nombre de nuit de travaux (21h30 - 4h30) hors balisage/débalisage (hors lot)



## Nature des travaux

### Travaux préparatoires

Décapage THP 450 bars et Hydrodémolition des zones dégradées

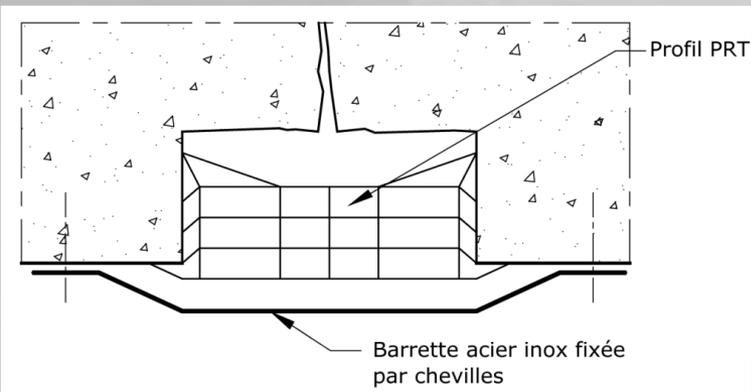


Traitement des fissures, restructuration des bétons et enduisage des piédroits

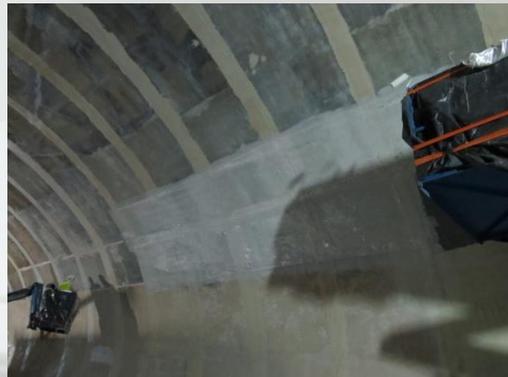


## Traitements d'étanchéité

Dépose des joints PRT et pose de système D-NOX, traitement des venues d'eau



Application du SEL TECTOPROOF CA



## Peinture des piédroits et des abouts



**Merci de votre attention**

