

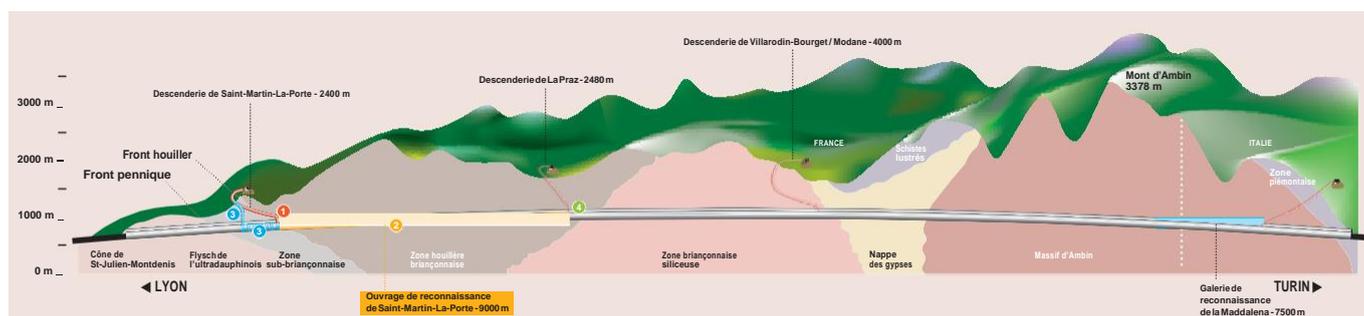
## OUVRAGES DE RECONNAISSANCE DE SAINT-MARTIN-LA-PORTE

**LE GROUPEMENT SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL (MANDATAIRE), EIFFAGE GÉNIE CIVIL, GHELLA SPA, CMC DI RAVENNA ET COGEIS SPA RÉALISE DES OUVRAGES DE RECONNAISSANCE COMPLEXES DANS LE CADRE DE LA NOUVELLE LIGNE LYON TURIN FERROVIAIRE, DANS UN ENVIRONNEMENT GÉOLOGIQUE A FORTE CONVERGENCE.**

### CONTEXTE

Le chantier de la galerie de reconnaissance de Saint-Martin-La-Porte a été engagé début 2015. Le maître d'ouvrage des travaux, celui qui porte le projet, son budget et son calendrier, est la société franco-italienne TELT (Tunnel Euralpin Lyon Turin) qui, en février dernier, a pris la succession de LTF (Lyon Turin Ferroviaire, en charge des études d'avant-projet et de l'essentiel des travaux de reconnaissance depuis 2001).

Les travaux constituent une nouvelle étape en vue de la réalisation du tunnel franco-italien de 57,5 km, ouvrage principal de la section transfrontalière de la future ligne ferroviaire Lyon-Turin (65 km, entre Saint-Jean-de-Maurienne en Savoie et Susa/Bussoleno en Piémont).



### CONTACTS COMMUNICATION

**Site web du chantier :** [www.chantier.smp4.eu](http://www.chantier.smp4.eu)

**Agence de Presse de Spie batignolles :**

Agence FP&A - Audrey SEGURA  
Tel : 01 30 09 67 04 – Port : 06.23.84.51.50  
[audrey@fpa.fr](mailto:audrey@fpa.fr)

**C.M.C. di Ravenna :** Giuseppina MELIDONA

Tel : +39 0544 428111 – Port : 02 49680114  
[Giuseppina.Melidona@cmcra.com](mailto:Giuseppina.Melidona@cmcra.com)

**COGEIS SPA :** Viviana ALLIETTO

Comunicazione e Immagine Aziendale  
Tel +39 0125 635111 - [viviana.allietto@cogeis.it](mailto:viviana.allietto@cogeis.it)

**Groupe Eiffage :** Frédérique ALARY

Responsable communication  
Relations presse & Concessions  
Tel : 01 71 59 22 28  
[frederique.alary@eiffage.com](mailto:frederique.alary@eiffage.com)

**Groupe SMP4 :** Marion TALLEC

Responsable communication du groupement  
d'entreprises  
Tel : 06 89 15 55 61  
[marion.talleg@spiebatignolles.fr](mailto:marion.talleg@spiebatignolles.fr)

**Ghella SpA :** Giorgia Coppi

Comunicazione e Immagine Aziendale  
Tel +39 06 45 603 337 - [gicoppi@ghella.com](mailto:gicoppi@ghella.com)

Lors du sommet franco-italien du 24 février 2015, les deux pays ont signé l'accord d'engagement définitif des travaux. Trois galeries d'accès à ce futur tunnel transfrontalier, les descenderies, ont déjà été creusées en France entre 2002 et 2010, à Villarodin-Bourget/Modane, Saint-Martin-La-Porte et La Praz.

Les descenderies ont permis dans le cadre des études d'améliorer la connaissance des terrains mais elles serviront également pour creuser le Tunnel de Base sur plusieurs fronts et lors de la mise en service, pour assurer la ventilation, l'entretien et l'accès des secours, en cas de nécessité.



## POURQUOI LE LYON TURIN ?

L'actuelle ligne ferroviaire entre Lyon et Turin, achevée en 1871, présente aujourd'hui de nombreuses limites : pentes importantes, sinuosité du tracé, normes ferroviaires dépassées. Elle ne répond pas au besoin de traiter des trains de marchandises de plus en plus longs et des trains de grands containers.

La nouvelle ligne Lyon-Turin, projet prioritaire de l'Union Européenne dans le cadre de la réalisation du réseau transeuropéen, représente davantage qu'une simple liaison franco-italienne. Elle constitue le maillon manquant à l'intersection de deux grands axes de communication qui relient l'Europe du Nord au Sud et d'Ouest en Est.

## DESCENDERIE DE SAINT-MARTIN-DE-LA-PORTE : UN DOUBLE OBJECTIF

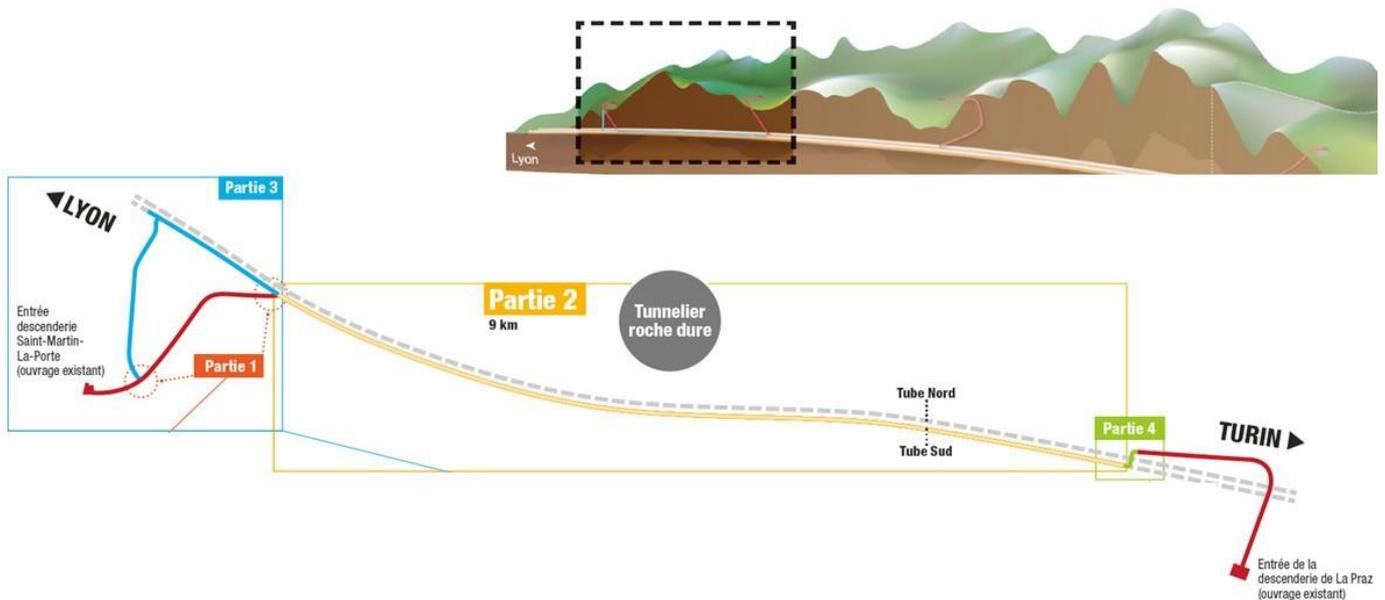
La descenderie de Saint-Martin-La-Porte est le premier ouvrage en partant de l'Ouest. Elle permet de rejoindre le niveau du futur tunnel situé à 80 m en contrebas. C'est donc de cette descenderie que démarrent les travaux. D'une longueur de 2400 m, la descenderie de Saint-Martin-de-la-Porte est située à 695 m d'altitude et se caractérise par une pente de 8 %.

Réalisée entre 2003 et 2009, elle répond à un **double objectif**. Dans un premier temps, elle a permis **d'apprécier et de caractériser les différents types de géologie étudiés** au moyen de campagnes de sondages pendant l'excavation. Aujourd'hui, pour le groupement d'entreprises, elle permet l'accès au tunnel de base de la future section transfrontalière.

## LE CHANTIER

Le 14 mai 2014, LTF confiait la réalisation des ouvrages de reconnaissance de Saint-Martin-La-Porte à un groupement de 6 entreprises : **Spie batignolles génie civil (mandataire du groupement), Eiffage Génie Civil (gérant), Ghella SpA, CMC di Ravenna, Cogeis SpA.**

Les travaux sont divisés en 4 grandes parties comme le montre le schéma du tracé ci-dessous :



Ils consistent, pour l'essentiel, en la réalisation d'une galerie de reconnaissance de 8,7 km, excavée au tunnelier, en direction de l'Italie (Partie 2 du schéma). Réalisée dans l'axe et au diamètre du tube Sud du futur tunnel, cette galerie de reconnaissance est excavée au tunnelier roche-dure et reliera le pied de la descenterie de Saint-Martin-La-Porte à celui de La Praz. Elle constituera un élément à part entière du nouvel ouvrage.

La principale spécificité de ce chantier réside dans sa géologie. Une partie des travaux se situe entre deux formations de roches composées de schistes, de grès et de charbon (front houiller). Cette géologie hétérogène provoque de fortes convergences du terrain et nécessite ces travaux de reconnaissance. L'objectif et l'enjeu de ce chantier est de caractériser ce type de géologie et de vérifier, adapter et mettre au point les méthodes de creusement. Ces dernières seront réutilisées pour les futurs lots du projet global Lyon-Turin ferroviaire.

Pour étudier cette géologie, la partie 3 du projet consiste à contourner cette zone difficile par la réalisation d'une galerie complémentaire d'1,8 km, en méthode traditionnelle.

Cette galerie (partie 3A) permettra d'atteindre le point kilométrique 10,15 (PK 10,15) du tube sud du futur tunnel à partir du Point Métrique 500 (PM 500), autrement dit à 500 mètres depuis l'entrée de la descenterie existante. À partir du pied de cette descenterie complémentaire, les équipes viendront traverser le front houiller en creusant une seconde galerie d'1,3 km (partie 3B). Elle permettra la reconnaissance et la consolidation des données géotechniques de cette zone. *Voir schéma page 14.*

Contractuellement, ce marché est divisé en 2 bons de commande. Le bon de commande N°1 correspond à la réalisation des parties 1, 2, 3A et 4. Le bon de commande N°2 correspond à la réalisation de la partie 3B, autrement dit, la traversée du front houiller.

Ces travaux démarrés début 2015 dureront **87 mois dont 54 mois pour** le bon de commande N°1. Ils représentent un montant de **389 millions d'euros.**

## FICHE TECHNIQUE

**Maître d'Ouvrage :** Tunnel Euralpin Lyon Turin (TELT)

**Maître d'œuvre :** Egis, Alpina

**Groupement :** Spie batignolles génie civil (mandataire), Eiffage Génie Civil, Ghella SpA, CMC Di Ravenna, Cogeis SpA

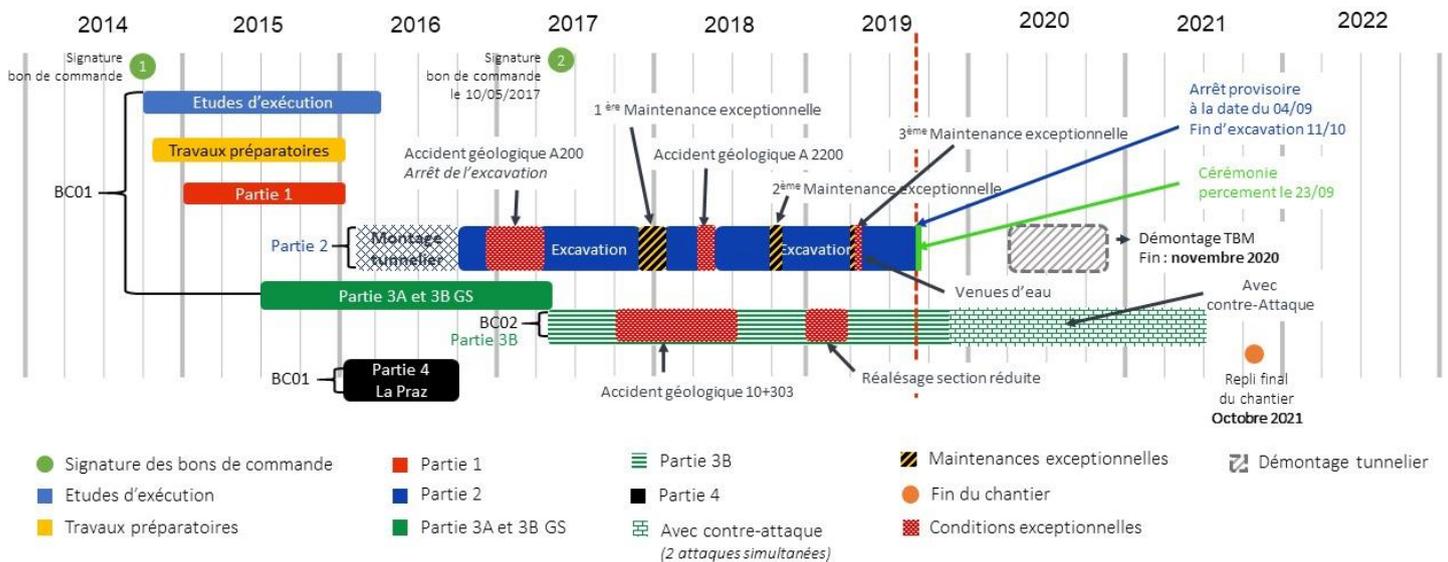
**Date de signature de l'ordre de service :** 1<sup>er</sup> octobre 2014

**Démarrage des travaux :** 3 novembre 2014

**Montant global des travaux (les 2 bons de commandes réunis) :** 389 millions d'euros

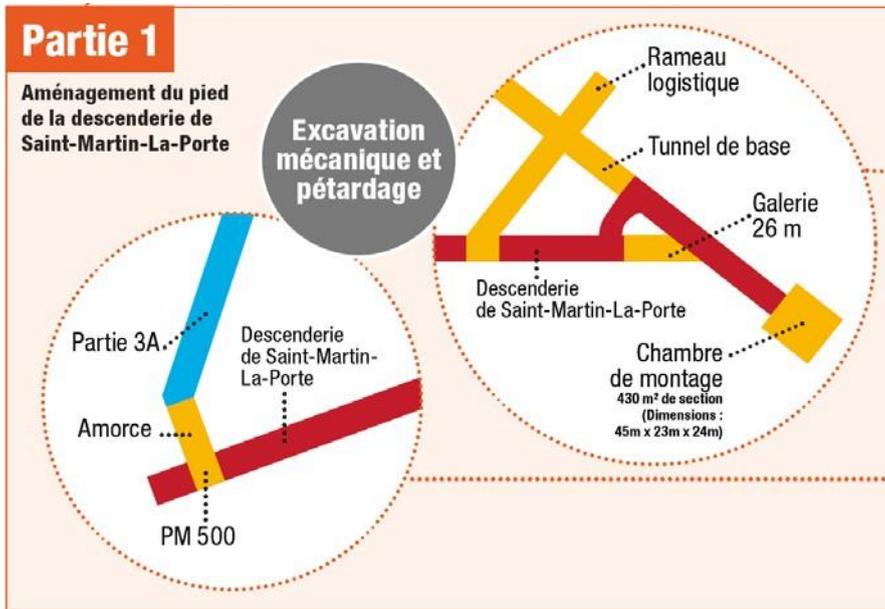
**Durée des travaux :** 87 mois dont 54 mois pour le 1<sup>er</sup> bon de commande

## PLANNING DU CHANTIER



# PARTIE 1 :

## AMÉNAGEMENT DU PIED DE LA DESCENDERIE DE SAINT-MARTIN-LA-PORTE



La première partie des travaux de ce marché concerne l'aménagement du pied de la descenderie existante. Réalisés à l'explosif, ces ouvrages comprennent :

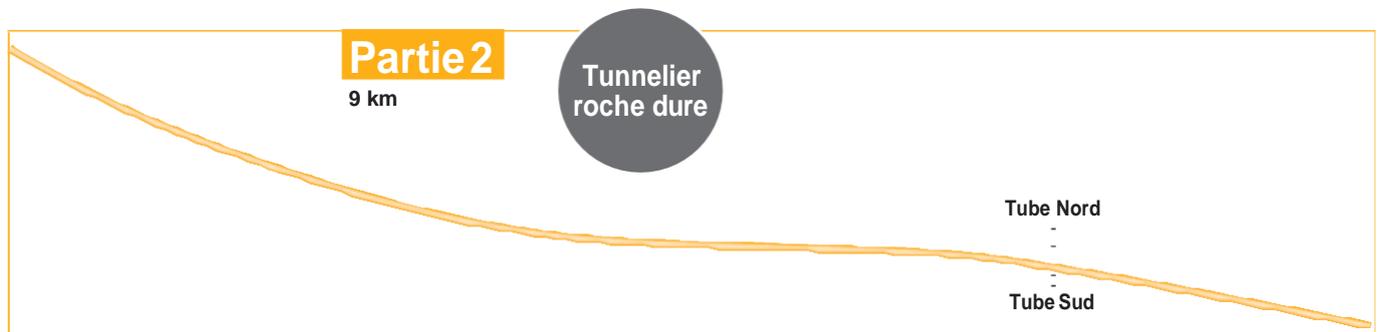
- Une amorce de 81 m de longueur, à 500 m depuis l'entrée de la galerie, pour faciliter le démarrage de la galerie de reconnaissance complémentaire (partie 3A du projet)
- Un rameau logistique pour permettre le passage de la bande-transporteuse, nécessaire à l'évacuation des déblais du tunnelier
- Une imposante chambre de montage, grande cathédrale de 45 m de longueur, 24 m de hauteur et 23 m de largeur, destinée au montage du tunnelier

Représentés en jaune sur le schéma « Partie 1 ». Ils ont été réalisés entre janvier 2015 et février 2016.



## PARTIE 2 :

# RECONNAISSANCE ET CREUSEMENT AU TUNNELIER DU TUNNEL DE BASE



La seconde partie du chantier concerne le creusement d'une galerie de reconnaissance de près de 9 km à l'horizontale (8 737 m exactement) avec une légère pente montante de 0.65 %, dans l'axe et au diamètre du futur tube Sud.

Traversant un terrain composé principalement de grès, cette galerie est creusée à l'aide d'un tunnelier roche-dure long de 138 m, avec une roue de 11,26 de diamètre.

## UN MONTAGE « À BLANC » À L'USINE DU CREUSOT

Conçu et fabriqué par NFM Technologies, le tunnelier a été monté entièrement à l'usine du Creusot (Saône-et-Loire), pour être réceptionné le 14 janvier 2016, par le groupement d'entreprises (voir lettre d'info n°3). Sa fabrication a duré près d'un an et mobilisé environ 250 ouvriers. Le tunnelier a ensuite été entièrement démonté pour être acheminé au fond de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte.

## DES CONVOIS « EXCEPTIONNELS » À PLUS D'UN TITRE

Pas moins d'une centaine de convois dont 34 convois dits « exceptionnels », ont été nécessaires pour transporter Federica, de l'usine du Creusot jusqu'à Saint-Martin-La-Porte, entre février et juillet 2016. D'une durée de trois à quatre jours, ce voyage de 418 km s'est déroulé de nuit pour traverser des passages délicats, comme le centre-ville de Grenoble. Les convois des remorques du tunnelier ont atteint 15 m de longueur et 6,82 m de largeur. Bien souvent, les panneaux de signalisation ou encore les feux tricolores ont été démontés à leur passage. À leur arrivée sur la plate-forme du chantier, les camions sont descendus en marche arrière sur 2,4 km pour rejoindre, en plus de 3 heures, l'imposante chambre de montage, frôlant parfois de quelques millimètres, les parois de la descenderie.

## L'ASSEMBLAGE DE LA MACHINE

À l'aide de deux portiques pouvant soulever près de 1.000 tonnes, le tunnelier a été assemblé entièrement au pied de la descenderie dans une chambre de montage aux dimensions de cathédrale : 25 m de haut, 23 m de large et 45 m de long. D'abord la tête de coupe, puis son bouclier, sa motorisation et pour terminer, la mise en place des sept remorques.

# LE TUNNELIER EN CHIFFRE

## LES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA MACHINE

2

Reconnaissance et creusement au tunnelier du tunnel de base

Pente montante de 0,65 %

8737 m de galerie à creuser
Tunnelier roche dure
138 m de long
2340 tonnes
52416 voussoirs
Couple nominal max : 8888 KNm
Couple de déblocage max : 35000 KNm



11,26 m de diamètre

76 molettes de 19 pouces

100 mm/min

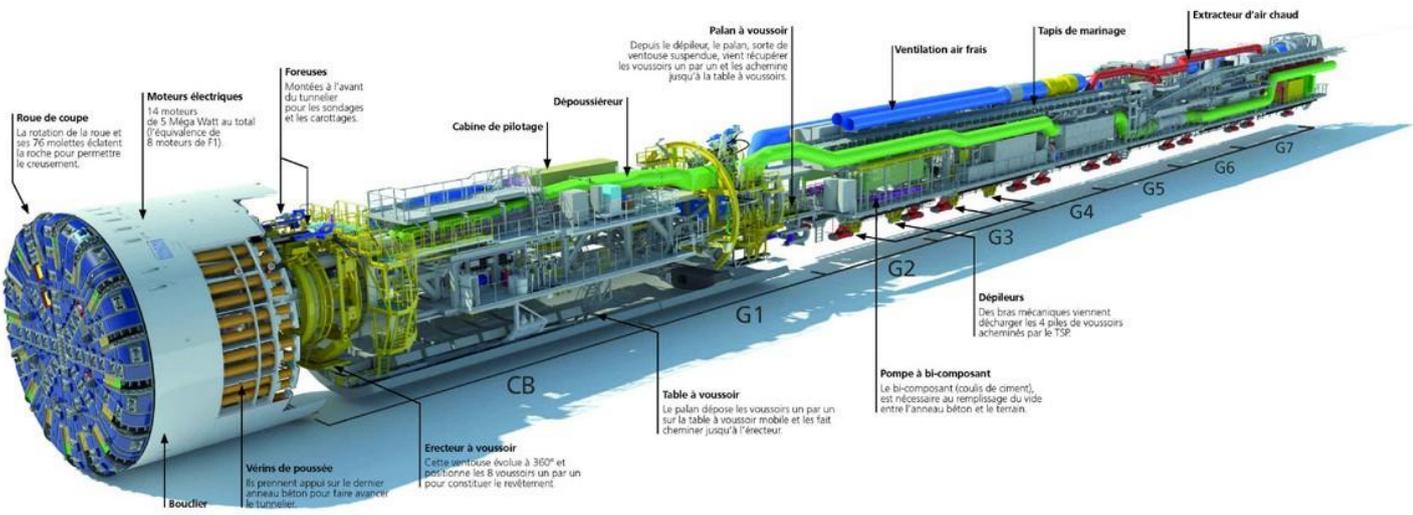
15 min creusement d'un cycle (pose des voussoirs non compris)



## LES SPÉCIFICITÉS DU TUNNELIER

Federica a été conçue de manière à répondre aux exigences du terrain qu'il va traverser et possède quelques spécificités :

- **2 foreuses à l'avancement** : Positionnées à l'avant du tunnelier, elles permettent la réalisation de sondages à travers la jupe de la machine. Des sondages destructifs jusqu'à 200 m mais également des sondages carottés jusqu'à 50 m pour en extraire des échantillons. Ces sondages répondent au programme d'auscultation du marché, et permettent également aux équipes chantier d'anticiper le terrain qui les attend au-devant et d'agir en conséquence.
- **Une puissante motorisation importante** : Pour anticiper les convergences et empêcher qu'il ne se coince, le tunnelier possède une puissance de 5 mégawatts, soit l'équivalent de 8 moteurs de F1. Il dispose d'un couple de déblocage maximum de 35000 kN.



## LE CREUSEMENT ET LE SOUTÈNEMENT

Le tunnelier creuse et construit simultanément, le revêtement du tunnel. Il effectue plusieurs opérations successives : l'abattage du terrain, l'évacuation des déblais et la mise en place du soutènement. Lors de l'excavation, la roue de coupe exerce une forte pression sur le front de taille et tourne de manière mécanique. Les molettes, en contact avec le front, découpent et brisent la roche. Les déblais passent alors derrière la roue de coupe, dans la chambre d'excavation, tombent sur le tapis convoyeur et sont extraits jusqu'à la surface et acheminés jusqu'à un site de dépôt. Au fur et à mesure de son avancement, le tunnelier pose les voussoirs qui forment un anneau et créent le soutènement et le revêtement étanche du tunnel. Le tunnelier avance grâce à de puissants vérins (22 paires au total), en prenant appui sur le dernier anneau posé pour se pousser en avant.

Le tunnelier avance chaque jour de 10 mètres, et jusqu'à 19 mètres certains jours. **850 000 m<sup>3</sup>** de matériaux sont à extraire. Ces matériaux sont pour partie valorisables en remblais.

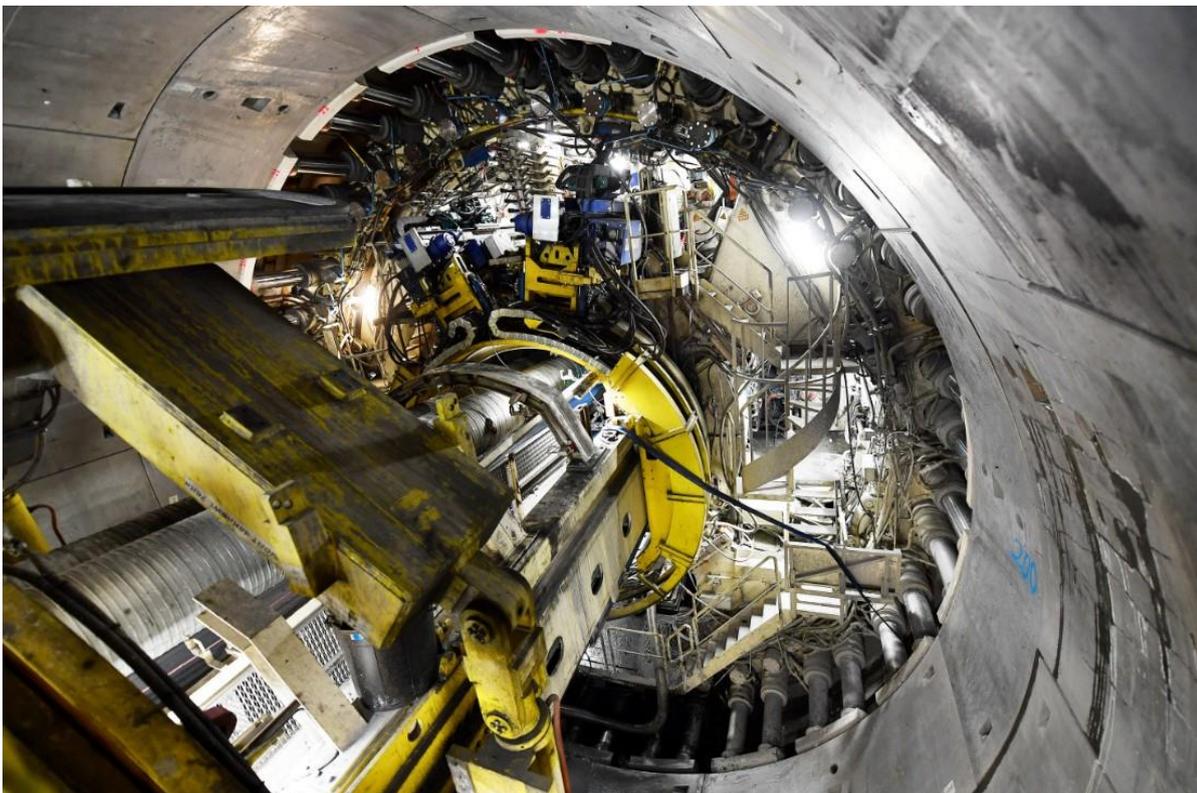
- **Démarrage de l'excavation** : octobre 2016
- **Fin du creusement** : Juillet 2019

## LE BI-COMPOSANT

Le remplissage du vide annulaire se fait par l'injection d'un bi-composant. Il s'agit d'une première en France. Ce bi-composant permet d'assurer le maintien de l'anneau sur l'axe et confiner cet anneau afin de limiter les déplacements ou encore son ovalisation. Il assure également une répartition homogène des efforts du terrain autour de l'anneau.

Le bi-composant est un mélange de deux composants A et B :

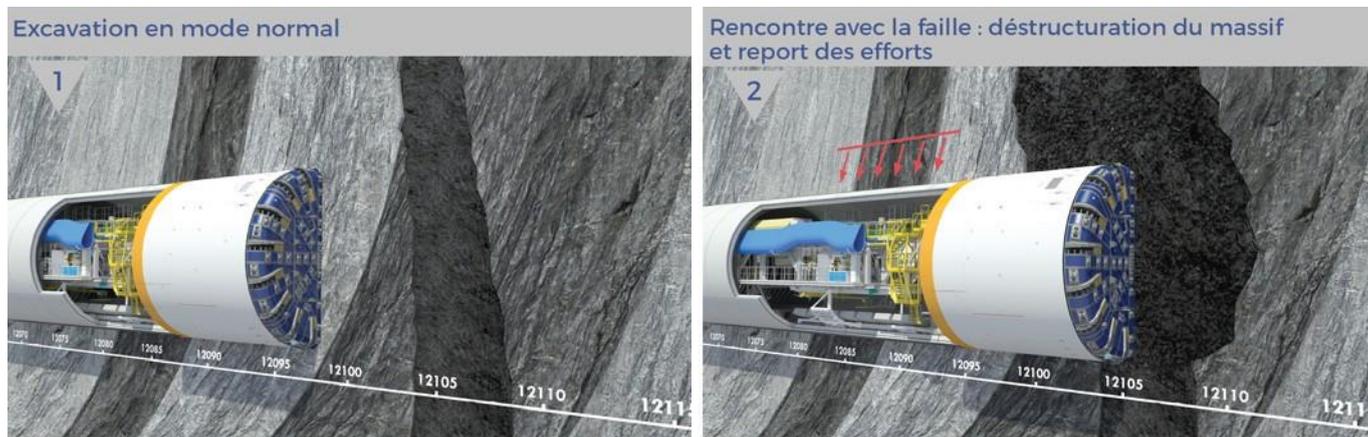
- A) Un superfluide dosé avec un agent retardant : Ciment + bentonite + eau + retardant + éventuelles cendres volantes
- B) Un accélérateur ajouté au composant A, immédiatement avant l'injection dans le vide annulaire (par la jupe et/ou les voussoirs)



© Caroline Moureaux

# ACCIDENT GÉOLOGIQUE : LES 6 ÉTAPES DE LA TRAVERSÉE DE LA FAILLE

Après 8 mois de montage, le tunnelier Federica a démarré le creusement en octobre 2016. Dès les 300 premiers mètres excavés et les 200 anneaux posés, la machine s'est retrouvée ralentie puis complètement stoppée mi-décembre 2016. Le tunnelier subissait des problèmes de surexcavation, en extrayant 15 fois plus de matériaux que prévu, l'empêchant de progresser. L'excès de matériaux a ainsi provoqué des arrêts fréquents de la bande transporteuse. Enfin, la déstructuration du massif a engendré un report des efforts sur les anneaux à l'arrière du bouclier, les déformants pour certains.



## Au cœur de la reconnaissance géologique

Le tunnelier Federica est un tunnelier dit « roche-dure », conçu de manière à traverser les 9 km de schistes et de grés qui le séparent de la descenderie de La Praz. En contact avec le front, les molettes de sa roue de coupe viennent briser la roche pour que la machine avance. Mais la géologie de ce tronçon hétérogène est parfois perturbée par des failles de schiste carbonneux qui rendent le terrain meuble. La présence de venues d'eau complique encore ces zones instables. Cette géologie hétérogène nécessite donc des travaux de reconnaissance pour caractériser ce type de géologie et vérifier, adapter et mettre au point les méthodes de creusement. Ces dernières seront reprises pour les futurs lots du projet global du Lyon-Turin ferroviaire.

## La traversée de la faille

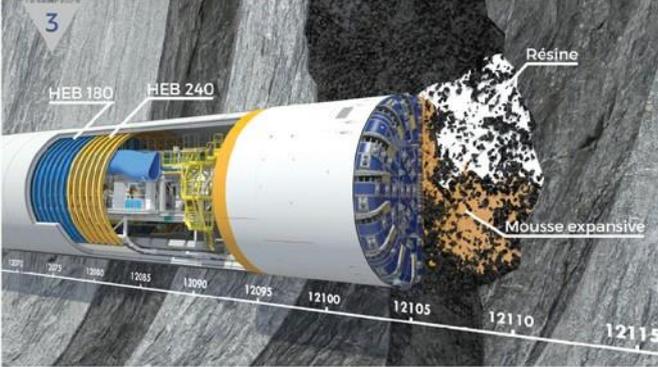
Des experts en géotechnique sont dépêchés pour assister le chantier et étudier de plus près les échantillons de forages et les données délivrées par la machine (puissance, couple) etc. À la suite de l'expertise, les acteurs du chantier retiennent une solution en deux temps :

- Dans un premier temps, il faut restructurer le front et lui redonner une cohésion. Des campagnes d'injections de mousses expansives et de résine sont réalisées par les équipes tunnelier du chantier, à travers le bouclier de la machine. Ensemble, elles forment un liant autour des matériaux déstructurés et lui redonnent une dureté permettant à la machine d'excaver de nouveau\*.

*\* Après avoir vérifié le caractère « inerte » des matériaux excavés, ces derniers ont été stockés de manière définitive sur un site de dépôt.*

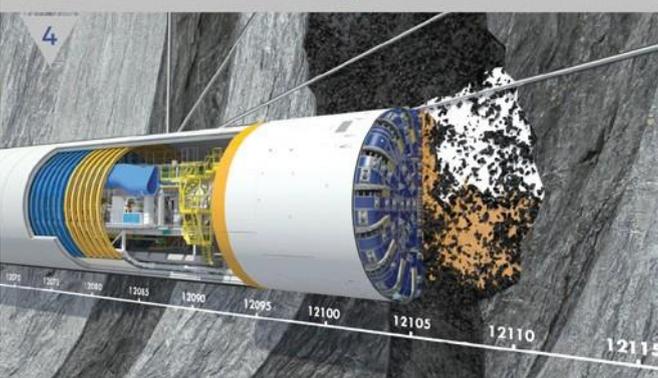
Pendant la phase d'arrêt, et pour éviter toute déformation des anneaux voussoirs liée aux convergences\*, les équipes du chantier les ont renforcés par le biais de cintres lourds de type HEB 180 puis HEB 240.

### Renforcement du soutènement par cintres HEB et campagnes d'injection



Parallèlement, plus de 300 mètres de sondages carottés ont été réalisés pour quadriller au mieux le terrain, en périphérie et à l'avant du tunnelier.

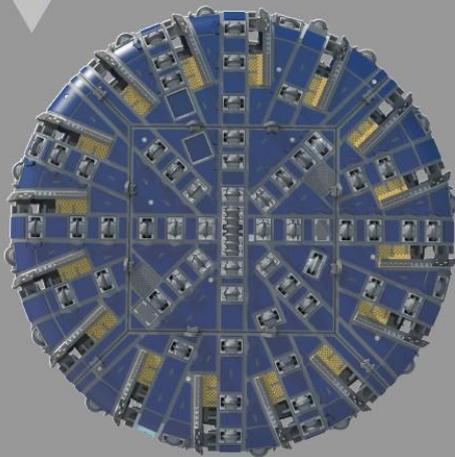
### Réalisation de 310 m de sondages carottés



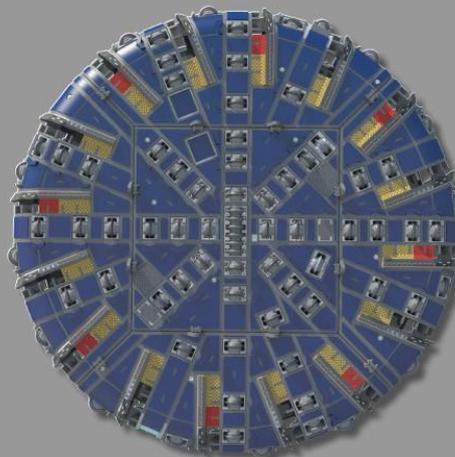
- Dans un second temps, la roue de coupe du tunnelier a fait l'objet d'une adaptation. Les équipes sont venues fermer un peu plus la tête de tunnelier, par l'intermédiaire de tôles soudées sur les bras de la machine. D'un taux d'ouverture de 8%, la tête de coupe est passée à 4,5%. Cette réduction empêche l'afflux de matériaux en trop grosse quantité qui risqueraient d'embourber la roue du tunnelier. Enfin, les performances de la machine, déjà conséquentes, ont été renforcées.

### Adaptation de la roue de coupe par la fermeture partielle des 16 bras

5



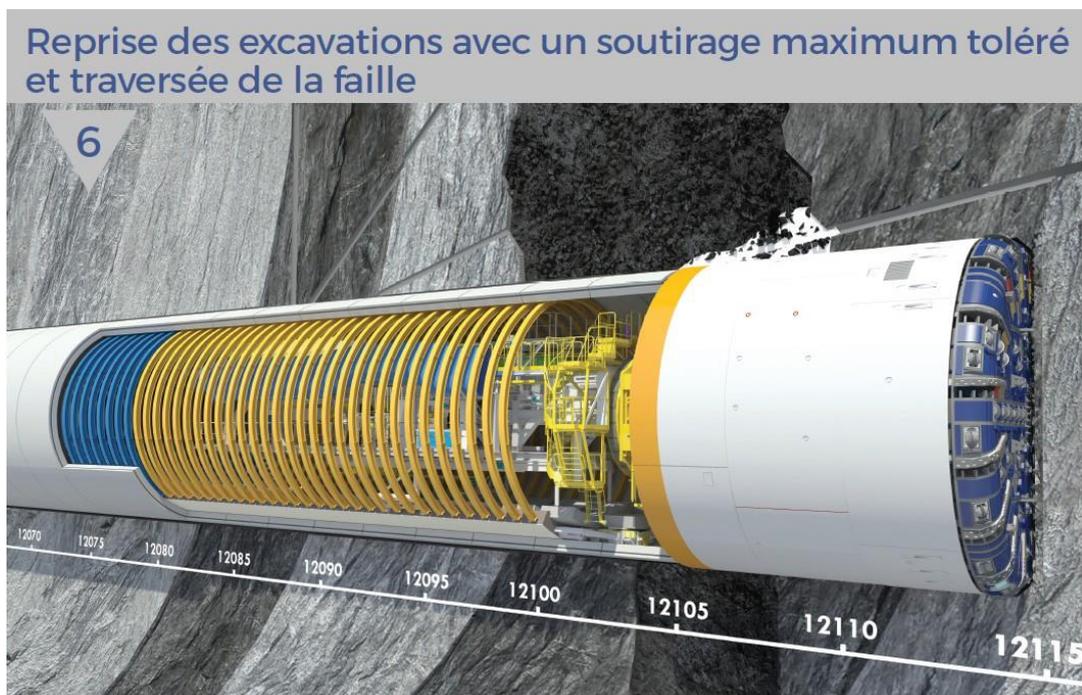
Ouverture 8%



Ouverture 5%

Le 28 février 2017, le tunnelier a repris lentement son excavation pour se remettre en cadence dès avril 2017.

**Aujourd'hui, Federica excave entre 10 et 15 m par jour et pose entre 7 et 8 anneaux voussoirs en béton. Ces derniers sont préfabriqués à l'usine des Œillettes.**



### **Une géologie attendue**

L'objet même de ce chantier de reconnaissance est de venir reconnaître cette géologie complexe et développer des moyens d'excavation industriels et adaptés. Parfois les zones géologiques difficiles à traverser sont plus importantes que d'autres, telles que l'accident géologique évoqué. Au total, plus de 15 mètres de faille ont été traversés avant de retrouver un terrain dur et homogène.

### **Un tunnelier adapté à cette géologie**

Ce tunnelier a été conçu de manière sur-mesure à cette géologie. Malgré le ralentissement généré par cette faille, la machine a réussi à la traverser. La puissance du tunnelier, ses deux foreuses à l'avancement pour les sondages, et les adaptations qui ont été réalisées par le groupement SMP4, sont autant de facteurs qui ont contribué au passage de cette faille et à la réalisation de ce défi technique. L'adaptabilité des procédés et la capacité d'évolution du groupement sont un atout indéniable sur ce chantier.

### **Un retour d'expérience pour les difficultés géologiques à venir**

Ce type d'accident géologique peut se reproduire sur ces 9 km de tronçon. En août 2017, les équipes chantier ont de nouveau traversé ce même type de géologie difficile avec succès, sans arrêt de la machine. Cette réussite a conforté le groupement d'entreprises dans le choix de ce tunnelier et dans la réalisation des adaptations imaginées. Malgré les difficultés rencontrées, l'accident géologique a constitué un véritable retour d'expérience pour l'évolution du matériel, pour les équipes et pour l'avancée de ce chantier.

### **Une phase de maintenance programmée**

À partir de novembre 2017, le tunnelier Federica va être arrêté pour une phase de maintenance programmée. Les équipes seront renforcées pour mener à bien cette opération conséquente. Le tunnelier a redémarré début janvier 2018 pour continuer l'excavation.

## 23/09/2020 : LE TUNNELIER FEDERICA ACHÈVE SA COURSE

Le 23 septembre 2020, le tunnelier Federica a officiellement achevé l'excavation des 9 km de galerie dans l'axe et diamètre du futur tube Sud de la section transfrontalière Lyon-Turin. Le tunnelier a percé dans sa chambre de démontage, au pied de la descenderie de La Praz.

Cette arrivée s'est réalisée en présence de Jean-Baptiste Djebbari, le Secrétaire d'État chargé des Transports français, de Mr Bernard, maire de Saint-Martin-La-Porte, et de Mr Chiale, Maire de Saint-André. **"C'était incroyable, un très beau moment !" a déclaré Jean-Baptiste Djebbari en remontant de la galerie.** Et pour cause, un spectacle de son et lumière saisissant pendant l'attente et enfin l'apparition de la gigantesque tête de coupe du tunnelier Federica faisant tomber d'un seul bloc la paroi qui le séparait de la descenderie de La Praz. Plusieurs collaborateurs du Groupement SMP4 sont ensuite sortis à travers de la roue de coupe pour rejoindre leurs collègues de l'autre côté.

La cérémonie du percement organisée par le maître d'ouvrage TELT était assurément riche en symboles. Notamment celui d'un chantier hors norme aux allures de véritable prouesse humaine et technologique.

C'est la fin du parcours pour le tunnelier Federica et ses équipes. Mais pas la fin du chantier SMP4 puisque la partie en amont de la descenderie, à l'explosif, continue sa progression dans des terrains très difficiles, là où le tunnelier n'aurait pas pu traverser.



© Caroline MOUREAUX

## ZOOM SUR L'USINE À VOUSSOIRS DU CHANTIER



Conçue et fabriquée par le groupement d'entreprises dans une ancienne scierie, l'atout de cette usine réside principalement dans sa proximité avec le chantier de Saint-Martin-La-Porte, à 3 km du chantier. L'objectif : limiter les longs trajets d'acheminement des voussoirs par camions et de ce fait l'encombrement des routes empruntées par les riverains. La plate-forme a été aménagée en conservant le hangar d'origine et les 2500 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques de sa toiture. Piloté par le groupement d'entreprises, cette usine fabrique chaque jour 90 voussoirs. Ils constituent le revêtement étanche du tunnel au fur et à mesure de l'avancement du tunnelier.

Cette usine est dotée d'un véritable processus industriel automatisé, rappelant l'industrie automobile. 45 moules à voussoirs se déplacent de poste en poste à l'aide d'un carrousel. Les salariés, les équipements et les machines de production restent sur des postes fixes.

Au total, 52 416 voussoirs sont à fabriquer pour réaliser les 8,7 km de tunnel, soit 5 824 anneaux à fabriquer (1 anneau = 7 voussoirs universels + 1 clé + 1 voussoir de radier).

Fin : avril 2019

### ÉTAPE 1 : LA POSE DU JOINT



Un opérateur vient appliquer un joint compressible à l'intérieur du moule.

### ÉTAPE 2 : LE FERRAILLAGE



L'armature provenant de l'atelier ferrailleur est mise en place à l'intérieur du moule par un opérateur et à l'aide d'une potence mécanique.

### ÉTAPE 3 : LE BÉTONNAGE DU VOUSSOIR



De la centrale à béton au poste de bétonnage, une benne achemine le béton au-dessus du moule à l'intérieur de la cabine de bétonnage. En moyenne, 3 m<sup>3</sup> de béton sont nécessaires pour couler un voussoir. Les vibrations du moule sont mises en route pour permettre une bonne répartition du béton et un meilleur enrobage des armatures. Vient ensuite le talochage manuel de la face supérieure du voussoir pour enlever l'excédent de béton.

### ÉTAPE 4 : L'ÉTUVAGE



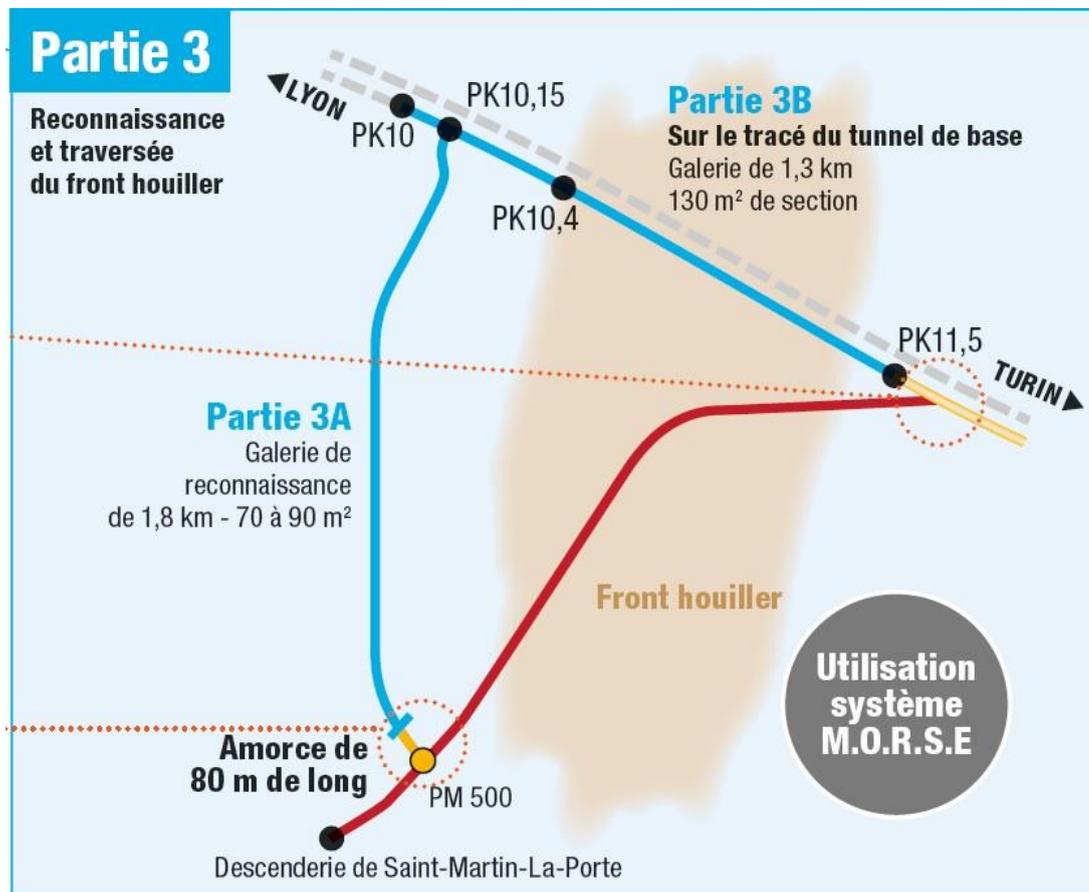
Le moule est ensuite transféré sur des rails jusqu'au tunnel d'étuvage, chambre isolée thermiquement et divisée en trois compartiments pour permettre au béton de sécher plus rapidement. Les voussoirs restent à l'intérieur pendant près de 6 à 7h, à des températures différentes pour favoriser la thermo-maturation.

### ÉTAPE 5 : LE DÉCOFFRAGE



Le moule sort de la chambre d'étuvage. Un retourneur agrippe le voussoir sur les faces circulaires et le bascule à 180°, sur le dos. Le voussoir est alors placé sur une table d'évacuation et acheminé jusqu'au dispositif d'empilage, où il sera entreposé dans le hall de pré-stockage, à température ambiante durant 24 heures. Ce dernier est ensuite prêt à l'emploi.

# PARTIE 3 : RECONNAISSANCE ET TRAVERSÉE DU FRONT HOUILLER



Cette 3<sup>ème</sup> partie est divisée en deux sous-parties :

▸ **PARTIE 3A** : creusement en méthode traditionnelle d'une descenderie complémentaire de 1,8 km permettant d'atteindre le point kilométrique (PK) 10,15 du tube Sud depuis le PM 500 (pente 5,5 %). Des niches de sondage ont été réalisées pour sonder à 300 m dans la roche ; elles ont également servi de niche de retournement pour les engins de chantier.

Cette descenderie complémentaire de 1,8 km a pour objectif de contourner, dans un premier temps, le front houiller et rejoindre le tube Sud. Ces travaux sont achevés depuis mai 2017.

## Excavation traditionnelle par système M.O.R.S.E®

Le système M.O.R.S.E. permet la production d'une émulsion explosive directement à front de taille. Il contribue à l'amélioration des conditions de sécurité (très forte réduction de la manipulation des produits pyrotechniques), de sûreté (réduction très importante du risque de détournement de produits pyrotechniques du chantier), à l'amélioration de la productivité (facilité de chargement, gain de temps) et à la réduction des coûts de minage (diminution du nombre de trou, suppression des ateliers de pré charges, stockage des produits pyrotechniques sur site réduit à son strict minimum).



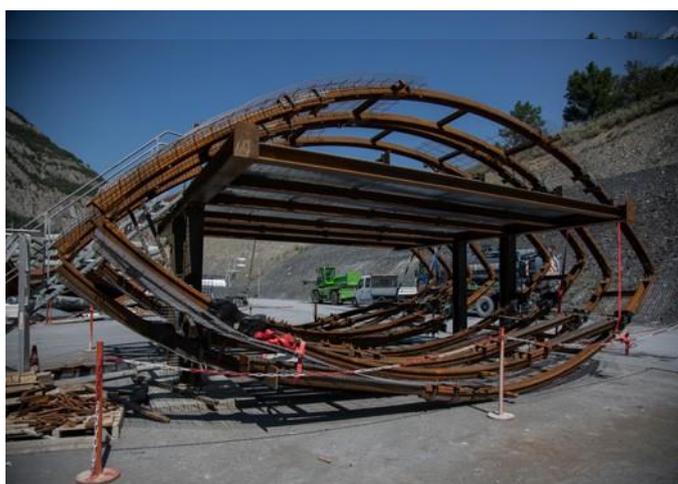
► **PARTIE 3B** : creusement en méthode traditionnelle d'une galerie de 1,3 km sur le tracé du tunnel de base.

À la mi-juillet 2017, les équipes sont arrivées au niveau du tube Sud de la ligne Lyon-Turin pour réaliser l'intersection par le biais de deux fronts d'attaque : côté Est, direction Turin et côté Ouest, direction Saint-Jean-de-Maurienne.

Le véritable défi se trouve côté Est, principal front d'attaque de cette partie 3 du chantier. Une galerie d'1,3 km en très grande section (130 m<sup>2</sup>) est actuellement en cours de réalisation. Elle vise à reconnaître et traverser le front houiller. En effet, cette zone très hétérogène, composée de grès, de schistes, et de veines de charbon, rend extrêmement instable le terrain lors du creusement. On assiste alors à un phénomène de refermement du terrain, autrement appelé « convergences ». Ces travaux ont débuté à l'explosif mais le passage du front houiller nécessite une excavation à attaque ponctuelle. Trois types de soutènement sont réalisés : un soutènement souple à front avec l'installation de cintres automatiques doublés munis de treillis soudés, un soutènement semi-rigide plus en amont et un soutènement rigide pour bénéficier des convergences et obtenir le gabarit de 7 m de diamètre intérieur.

Là encore, des sondages (carottages sur une centaine de mètres) sont réalisés pour affiner les études de ce front houiller et anticiper les futures excavations. Ils répondent également à l'important programme d'auscultation du marché des ouvrages de reconnaissance de ce chantier.

**Objectif : étudier, analyser, comprendre le comportement de cette géologie singulière, pour adapter et industrialiser les techniques d'excavation, afin de traverser plus aisément ce terrain.**





© Caroline MOUREAUX

## TRAITEMENT ET TRAVERSÉE D'UNE ZONE ÉBOULÉE

Le 8 septembre 2017, en pleine excavation en méthode traditionnel, le Groupement SMP4 rencontre une faille éboulée. Cette faille engendre un éboulement en voûte et l'affaissement des derniers cintres métalliques posés. Sa traversée devient complexe et nécessite de tester plusieurs méthodes d'excavation et de soutènement.

### Un terrain géologique difficile

La Partie 3 du chantier SMP4 se situe au contact entre les sédiments carbonatés de la Zone Subbriançonnaise (ZSB), à l'Ouest, et les métasédiments gréséo-pélicites avec niveaux charbonneux de la Zone Houillère Briançonnaise (ZHB), à l'Est. Le contact entre ces deux unités est représenté par le Front Houiller (FH), un linéament tectonique très important, connu tout le long de la chaîne des Alpes occidentales, le long duquel la ZHB a chevauché les unités les plus externes.

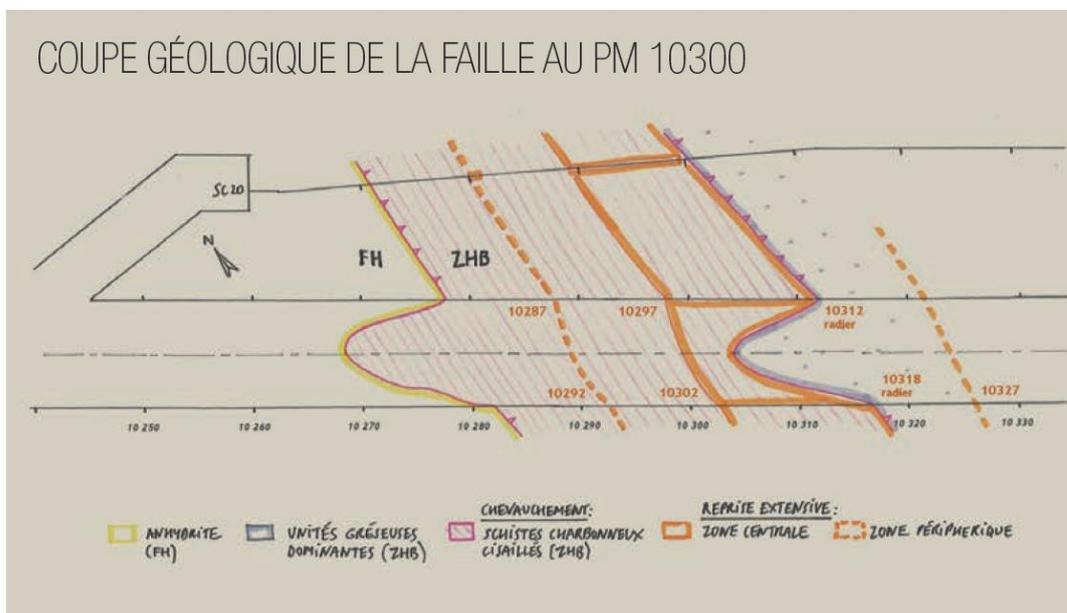
Les premiers mètres de tunnel excavés dans l'Houiller Productif ont traversé essentiellement des schistes noirs. Ces schistes deviennent de plus en plus charbonneux au fur et à mesure du creusement, et présentent à l'échelle du front, un aspect perturbé. La stratification/schistosité n'est jamais continue : les surfaces sont lustrées, striées et recoupées par d'autres discontinuités peu marquées à l'échelle du front. Cependant, à l'approche du PM 10 300, une déformation s'intensifie et se démarque par une frange de terrain déstructurée plus épaisse, associée à une argilisation (appelé aussi gouge).

Ce n'est qu'à partir du PM 10 303, que le centre du front est bouleversé par un changement brutal dans l'orientation des terrains. Cette structure centrale de mauvaise tenue, s'apparente à une faille d'épaisseur métrique qui traverse des grès et des schistes.

### → Caractérisation de la faille

La faille rencontrée est constituée de faciès schisto-charbonneux à charbonneux qui ont subi et concentré de grandes déformations tectoniques provoquant le développement d'une zone fragilisée constituée (figure 3) :

- D'une zone centrale, entre le PM 10 300 et le PM 10305 (voûte) où l'intensité de la déformation se marque par la formation de gouge grise (cataclasite).
- De deux zones périphériques, du PM 10 290 au PM 10 300 (voûte) et du PM 10 305 au PM 10 325 (voûte) traversées par des structures extensives moins développées.



Ces zones fortement tectonisées ont un comportement boulant et ne sont pas adaptés au soutènement mis en place dans le Tube Sud, basé sur un boulonnage radial. Les déformations mesurées sur la section de convergence au PM 10 295, ont montré une accélération à partir du jour 06/09/2017.

Le matin du 08/09/2017, lors de l'excavation au PM 10 301, un éboulement s'est produit en partie gauche (volume estimé : 100-150 m<sup>3</sup>), engendrant la formation d'une cloche de profondeur inconnue. Le dernier cintre posé au PM 10 300 s'est alors affaissé de 30 cm.

Lors des travaux de consolidation déployés immédiatement, la chute de matériaux a continué par petits éboulements, presque en continu.

**À 23h30, les cintres s'affaissent les uns après les autres jusqu'au PM 10 292, et l'ensemble de la section s'effondre (photo ci-dessous).**



### → Un suivi rigoureux des auscultations

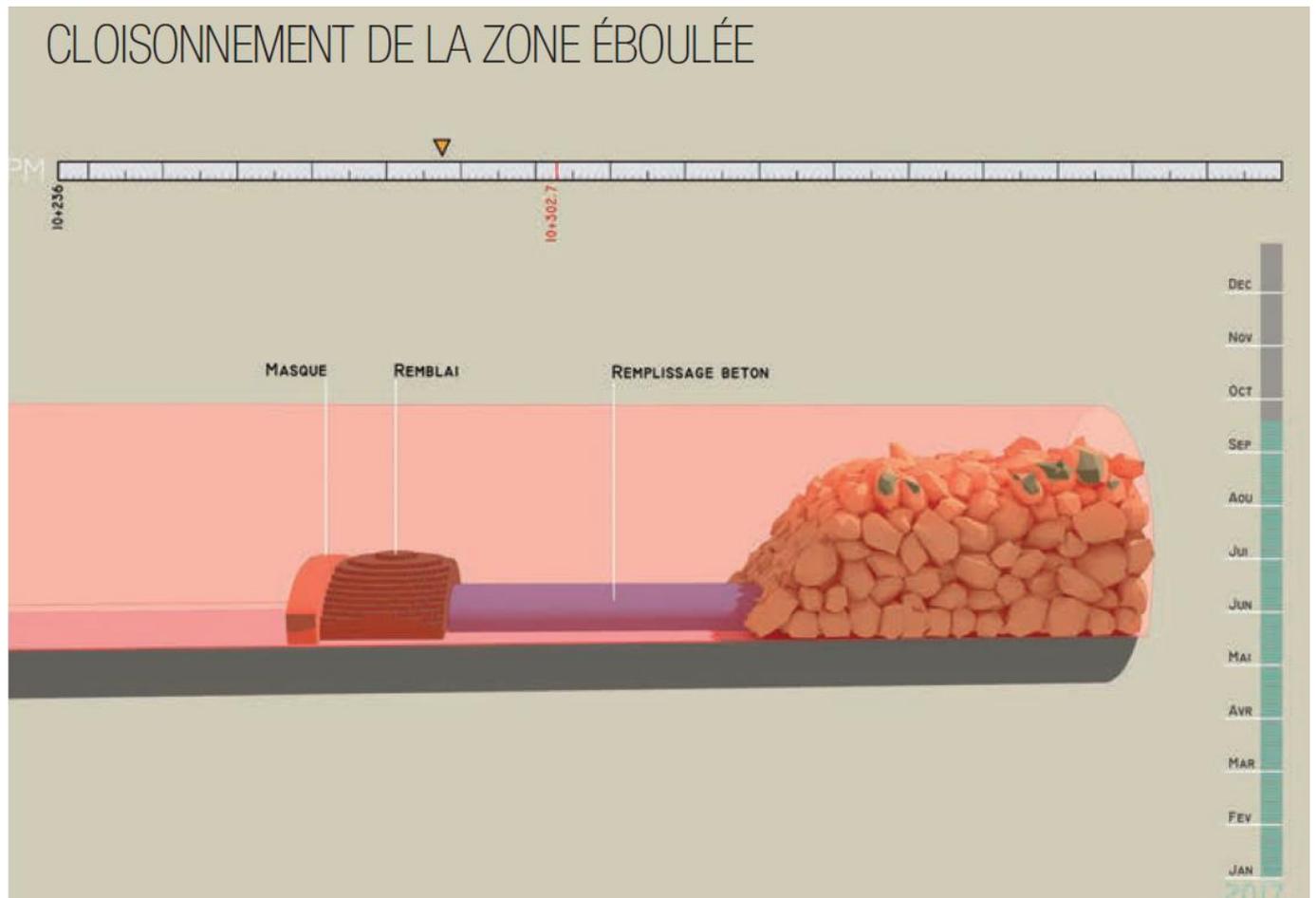
Le suivi des auscultations, en particulier des convergences, se base en partie, sur le retour d'expérience du creusement de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte, dans l'Houiller Productif (ZHB). Les mesures de convergence sont réalisées quotidiennement (voire plus en cas d'anomalies ou de valeurs proches des seuils) et analysées avec l'aide d'abaques créées spécifiquement par le bureau d'études du Groupement, permettant l'adaptation du soutènement en fonction du comportement du terrain.

Le 06/09/2017, les convergences mesurées s'accroissent sur la section au PM 10 295, atteignant la valeur limite ; Cette accélération marque l'amorce du mécanisme de rupture de la galerie (figure 5). Les convergences se poursuivent le lendemain, avec une vitesse inférieure à la veille. Le 08/09/2017, les convergences reprennent leur accélération et atteignent des valeurs qui dépassent le seuil. Entre le PM 10 292 et le front d'excavation au PM 10 301, l'effondrement de cette partie de la galerie se produit.

## La traversée de la faille

### → Le cloisonnement de la zone éboulée

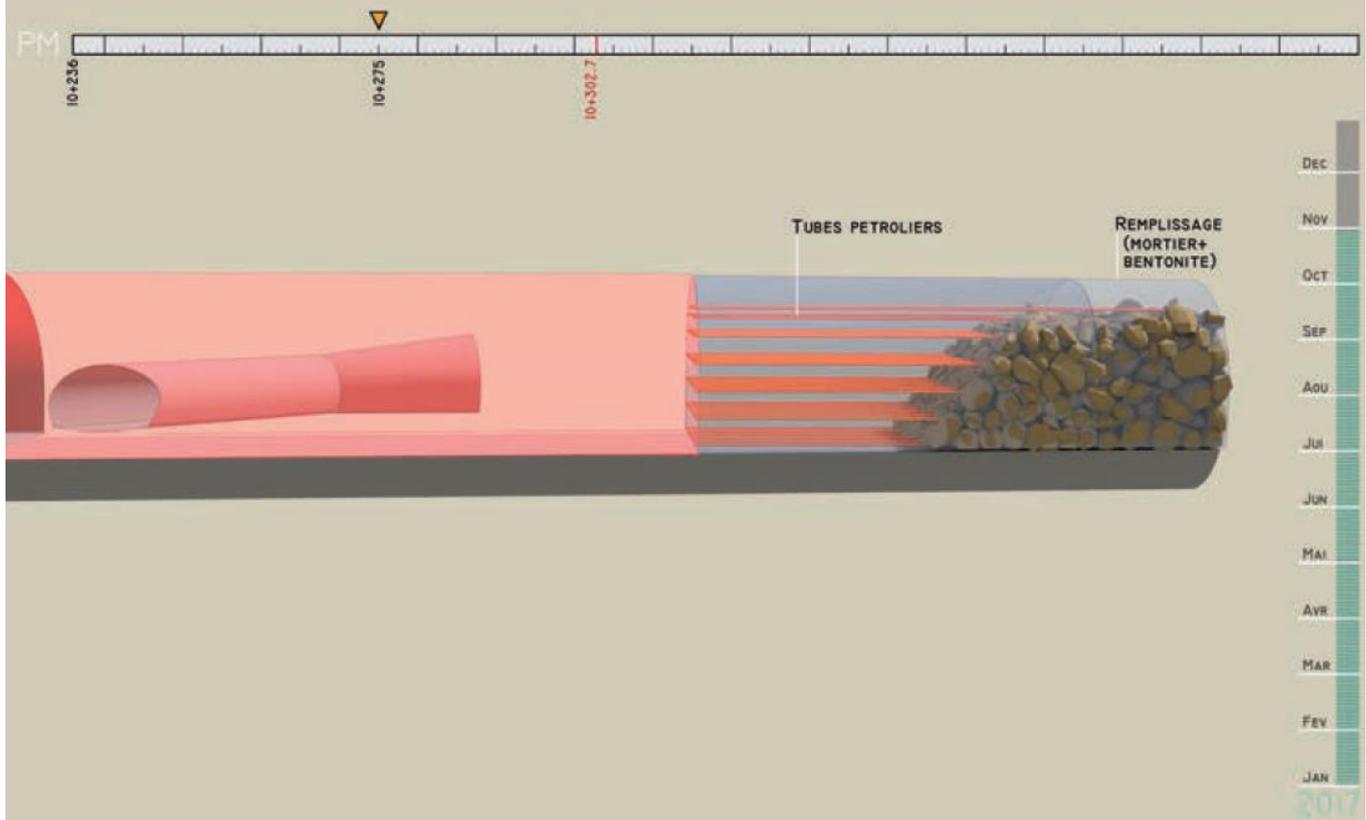
À la suite de l'éboulement, les équipes ont d'abord cloisonné la zone. Pour ce faire, un premier remblai a été réalisé en matériau granulaire issu du creusement et concassé. Ce remblai sert alors de mur poids entre la zone éboulée et le soutènement fragilisé. La pose de conduites métalliques a permis le pompage du béton. Les équipes ont fermé en tête le mur poids, à l'aide de treillis soudé et renfort en HA 25. Une couche de béton vient achever la fermeture.



### → La consolidation de la zone éboulée

Des tubes pétroliers de 3 mètres de longueur et de 114 mm de diamètre, ont été utilisés pour injecter le vide dans le terrain d'un coulis composé d'eau de ciment et bentonite. Deux types de tubes pétroliers se complètent : des tubes pleins et des tubes percés à chaque mètre. Ces derniers sont également équipés de manchettes pour maintenir l'eau de retour des cuttings à l'intérieur du tube et permettre, une fois expulsion sous pression de l'eau, de diffuser le coulis au droit des trous à chaque mètre.

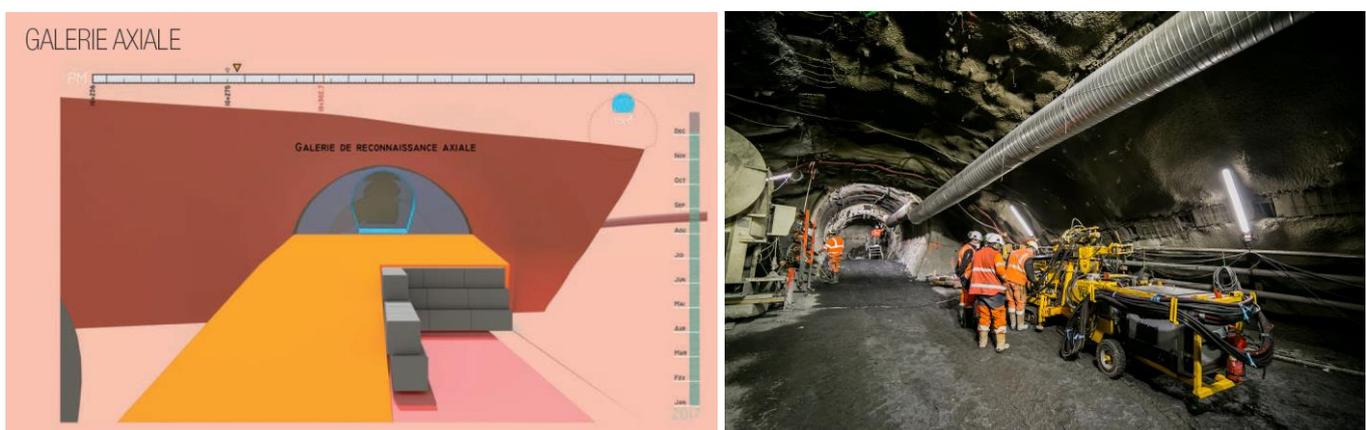
# CONSOLIDATION DE LA ZONE ÉBOULÉE



## → La réalisation d'une galerie de reconnaissance axiale

Après une campagne de reconnaissance de 552,70 m en cumulé de sondages carottés, les équipes ont pu s'atteler à la réalisation d'une galerie axiale en voûte de 15 m<sup>2</sup> de section.

Son objectif : redonner une cohérence à la zone éboulée tout en venant reconnaître la géologie de la faille et du terrain derrière.



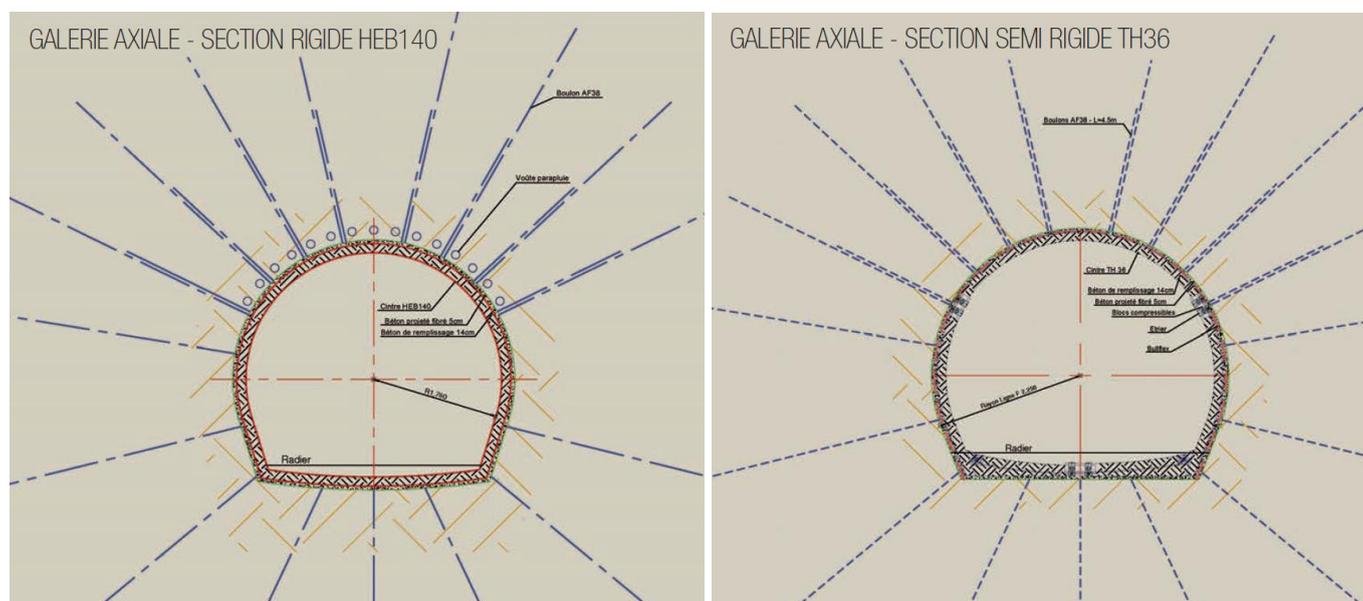
Pour venir excaver cette galerie, une rampe d'accès est réalisée permettant de surélever de 5 m le niveau initial. Une Machine à Attaque Ponctuelle équipée d'une fraise hydraulique vient gratter la roche mètre par mètre.

Une couche de béton projeté fibré de confinement est appliquée immédiatement après l'excavation. Les boulons Swellex viennent renforcer ce pré-soutènement immédiat. Vient ensuite la pose de boulons en fibre de verre de 12 mètres de longueur et 28 mm de diamètre sur le front d'excavation, scellés par injection de micro-mortier. Les plans de foration de ces boulons sont implantés, de manière à permettre un recouvrement.

**Concernant le soutènement, deux typologies sont nécessaires :**

**1ère typologie : le soutènement rigide** : à front, le soutènement rigide vient bloquer les déplacements du massif à l'aide de cintres HEB 140. Les équipes viennent réaliser une voûte parapluie par le biais de tubes de 15 m en tronc de cône avec recouvrement de 5 m afin d'assurer la stabilité en calotte. L'injection d'un coulis, d'une résistance de 30 MPa, finalise ce soutènement. L'extrados du cintre HEB est posé au contact de la voûte parapluie et un coffrage métallique est réalisé en intrados par des tôles de blindage. Un remplissage en béton est ensuite réalisé.

**2ème typologie : le soutènement semi-rigide** : à front, une auréole de boulons autoforants est ancrée en dehors du rayon plastique. À 5 mètres du front de taille, les équipes mettent en place des blocs compressibles au droit des zones de coulissements des cintres TH, servant de « fusibles » à la future coque. Les espaces entre les cintres métalliques sont ensuite comblés par une projection de béton projeté fibré. Le béton projeté laisse par endroit quelques zones libres pour faciliter le coulissement exercé par les contraintes du terrain.



L'excavation de la galerie axiale a permis de traverser la zone impactée par l'éboulement et d'identifier plus précisément l'accident géologique. La galerie peut alors être rebouchée complètement avant le réalésage définitif. Le remplissage est réalisé par plot de 5 mètres.

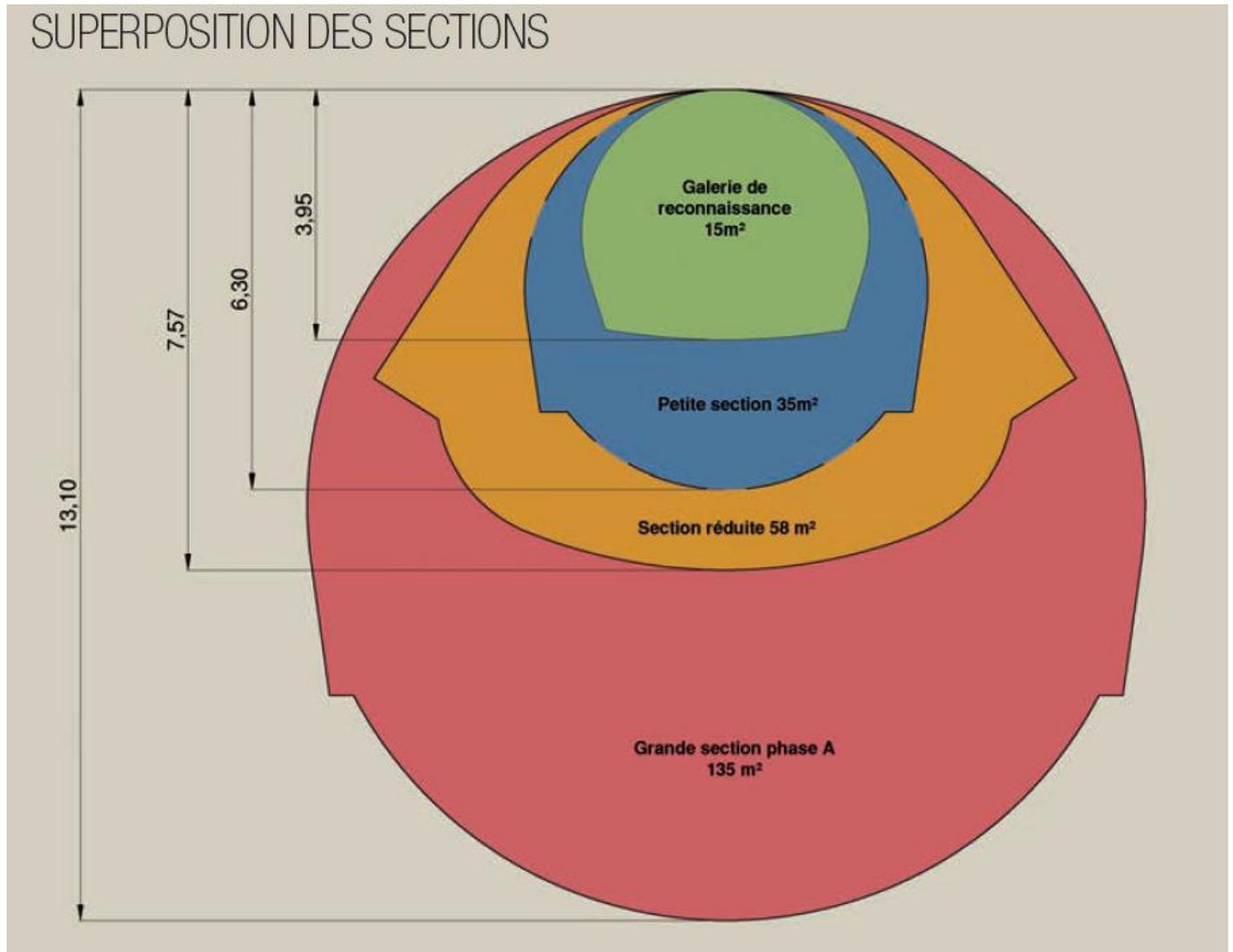
### → Reprise des excavations sous la galerie axiale

Une fois la galerie de reconnaissance axiale rebouchée, les équipes reprennent l'excavation sous la galerie axiale. Cette reprise est réalisée en deux parties :

- L'excavation d'une section réduite de 58 m<sup>2</sup> sur 24 m (correspondant à la zone éboulée) de la galerie que les équipes viennent bloquer complètement à l'aide de cintres métalliques HEB en voûte et contre-voûte. Les deux pieds de cintres sont rigidifiés par un buton. Entre les cintres, un coffrage métallique est mis en place derrière lequel le béton est coulé.

- L'excavation d'une petite section de 100 m à la suite de la section réduite. Son objectif : étudier son comportement dans le terrain au-delà de la partie éboulée. Un soutènement semi-rigide composé de cintres TH et de blocs compressibles, permet de laisser le terrain converger.

Enfin, un réalésage en grande section (section réduite + petite section) est entrepris. Pour la zone éboulée, il s'agit de réaliser un anneau de blocage à l'image de la section réduite : cintres HEB, tôles de blindage et béton coulé derrière ces tôles. Une fois la zone éboulée dépassée, le réalésage reprend en soutènement semi-rigide (cintres TH et blocs compressibles).



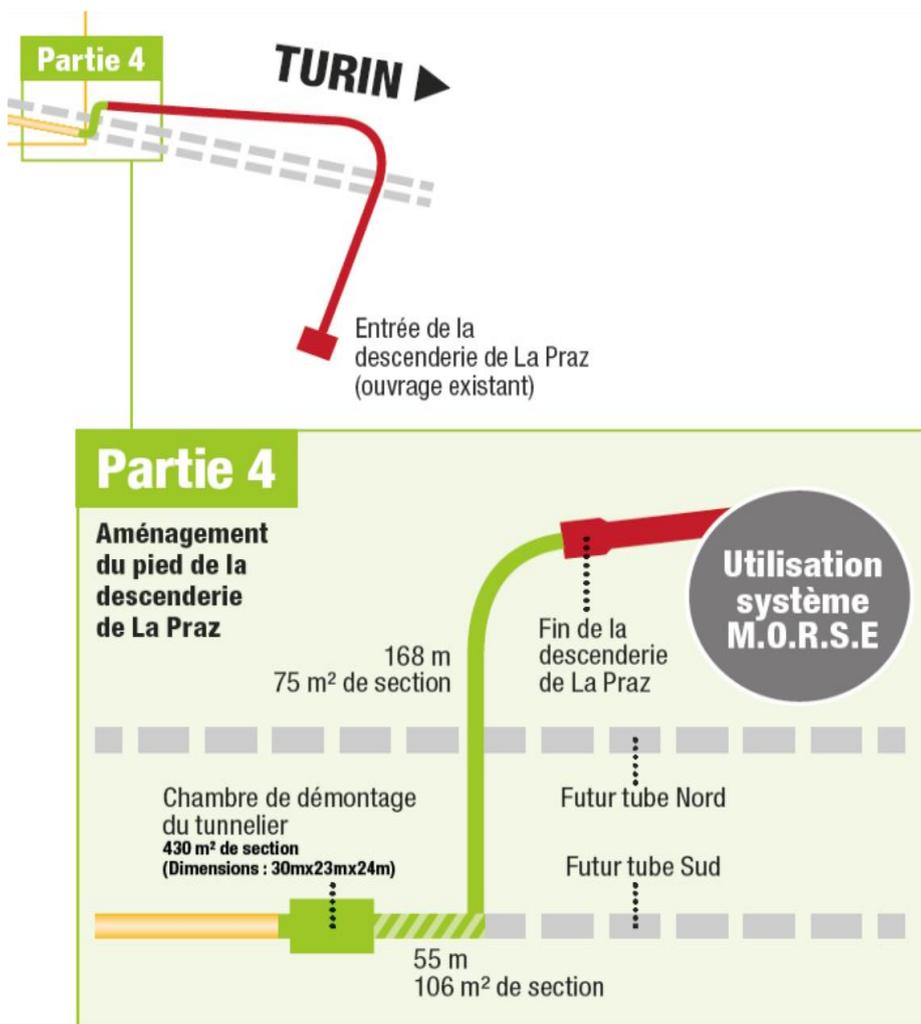
### PRINCIPALES QUANTITÉS DU PASSAGE DE LA FAILLE

- Environ 150 m de galerie réalisés en cumulé
- 8 800 m<sup>3</sup> de béton
- 374 t d'acier (cintres + treillis soudés)
- 4 800 m<sup>3</sup> de déblais
- Réalésage : 12 000 m<sup>3</sup>

## PARTIE 4 : AMÉNAGEMENT DU PIED DE LA DESCENDERIE DE LA PRAZ

Enfin, la 4<sup>e</sup> partie du chantier a concerné l'aménagement du pied de la descenderie de la Praz via la réalisation à l'explosif d'une galerie de liaison de 168 m et 75 m<sup>2</sup> de section rejoignant le tube Sud. Au pied de cette galerie de liaison sera réalisée la chambre de démontage du tunnelier. Cette chambre longue de 30 m, large de 23 m et de 24 m de hauteur abritera le tunnelier à l'issue du creusement.

Les travaux ont débuté en janvier 2016 et se sont achevés la même année.





## LE CHANTIER EN QUELQUES CHIFFRES :

1.3 million de m<sup>3</sup> de déblais excavés (l'équivalent de 350 piscines olympiques)

Fonctionnement du chantier 7j/7 et 24h/24

Jusqu'à **450 collaborateurs** au plus fort du chantier

900 tonnes d'explosifs employés

2 centrales à béton

1 usine à voussoirs

5 824 anneaux à fabriquer (1 anneau = 7 voussoirs universels + 1 clé + 1 voussoir de radier)

4 sites de dépôt positionnés à proximité du chantier

## UNE DIMENSION ENVIRONNEMENTALE IMPORTANTE

Les travaux sont organisés autour de la vallée de l'Arc dans l'emprise de plusieurs zones classées ZNIEF (Zones Naturelles d'Intérêt Écologique Faunistique et Floristique), ZICO (Zone importante pour la conservation des oiseaux) et Natura 2000. Par son étendue, il s'intègre également à la périphérie du parc naturel de la Vanoise. En conséquence, des études faune-flore approfondies ont été conduites sur l'ensemble des sites en surface impactés par la construction du tunnel de base. Elles déterminent la prise en compte de mesures sur le chantier.





### **EN TERMES DE BIODIVERSITÉ :**

Transfert d'espèces protégées, mares de compensation, zones écologiques (suivant Arrêtés CNPN).

### **RÉDUCTION DES NUISANCES ACOUSTIQUES ET VIBRATOIRES :**

Maîtrise des nuisances sonores par modélisation 3D des émissions, respect des émergences contractuelles, dimensionnement des équipements acoustiques des ventilateurs, suivi des niveaux sonores in-situ en phase travaux.

### **OPTIMISATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR :**

Afin de s'assurer d'une qualité de l'air constante, des mesures mensuelles permettent d'évaluer la quantité de poussière en suspension par plaquettes. Ces mesures calculent également la concentration de gaz. Pour réduire les poussières générées par le déplacement des camions bennes, un camion balayeuse circule régulièrement pour supprimer les poussières au moyen de jets d'eau. Un débourbeur est également utilisé pour nettoyer les pneus des camions.

### **PRÉSERVATION DE L'EAU :**

L'ensemble des eaux utilisées sur le chantier est traité et décanté avant d'être déplacé dans la rivière Arc. Une station de traitement a été installée en surface pour le recyclage de toutes les eaux d'exhaure.

### **VÉGÉTALISATION :**

Aménagements paysagers des sites de dépôts : plantation, engazonnement, modelage des dépôts...

### **VALORISATION DES DÉBLAIS :**

Tri du marin suivant classement par analyseur en ligne : stock définitif sur des sites de dépôt ISDI (Babylone et Plan d'Arc) ou dépôt provisoire ICPE (Saint-Félix et Illaz). Total : 1,3 millions de m<sup>3</sup> de déblais en place.

### **UNE COMMUNICATION CONTINUE AVEC LES POUVOIRS LOCAUX ET LES RIVERAINS**

L'ensemble des actions mises en œuvre par le chantier pour réduire les nuisances diverses ou l'organisation de prochains aménagements, fait régulièrement l'objet de campagnes d'information locales. L'objectif est de maintenir un échange constant entre les riverains, les élus locaux et le chantier.

## REVALORISATION DES DÉBLAIS

Composante essentielle de la politique environnementale menée sur l'ensemble du chantier de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte, la gestion des déchets a fait l'objet de multiples réflexions pour évaluer la solution la plus optimale.

La différence des matériaux recueillis en phase d'excavation à l'explosif (450 000 m<sup>3</sup>) et lors du creusement au tunnelier (850 000 m<sup>3</sup>) nécessitent la mise en place d'un tri pour sélectionner les matériaux valorisables de ceux qui ne le sont pas, ensuite transférés jusqu'à des dépôts.

Sur les 4 dépôts existants aux alentours du chantier, deux sont destinés à ne recevoir que les matériaux valorisables avec une capacité de stockage comprise entre 150 000 et 300 000 m<sup>3</sup>.

Enfin, les deux autres de 100 000 m<sup>3</sup> et 1 500 000 m<sup>3</sup> sont des sites de dépôt dits définitifs.

Les matériaux réutilisés sont, pour l'heure, affectés uniquement au remblai. 30 000 m<sup>3</sup> ont déjà été réexploités pour du remblai ou de la couche de forme, directement acheminés depuis la sortie du tunnel.

En parallèle, certains déblais ont été employés pour des opérations de drainage, soit pour servir d'épis drainants dans le corps du remblai, soit de couche drainante réalisée avant le béton de roulement.

Enfin, d'autres adaptations ont permis de développer de nouvelles revalorisations, telles que l'emploi de 5000 m<sup>3</sup> de matériaux qui, mélangés à du gypse, permettent de produire du plâtre.





## CHANTIER SMP4 : UNE INTÉGRATION LOCALE RÉUSSIE

Plus largement, le groupement SMP4 souhaite que le chantier apporte une valeur ajoutée aux territoires traversés. La richesse des relations de proximité avec les acteurs locaux est indissociable à cette réussite. Il s'implique au quotidien dans le paysage local et contribue à valoriser le cadre de vie, en collaboration avec les riverains, les élus locaux et les organismes d'État.

**Soucieux d'intégrer au mieux le chantier sur le territoire, le groupement a présenté dans un film, les actions mises en œuvre autour de trois thématiques majeures : l'Économie locale, l'Emploi et la Formation, la Relation de proximité.** Au Trophées du Cadre de Vie 2019 (Fimbacte), ce film a remporté le trophée Or du secteur Audiovisuel – Projets, Réalisations et Futurs Projets.

Le jury a souligné « *l'image véhiculée pour un groupement d'acteurs du BTP qui rend une impression fortement positive, sociétale et écologique* ».

Visualiser la vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=iXq2vL5TvBA>



## PRIORITÉ À L'EMPLOI LOCAL LA DÉMARCHE GRAND CHANTIER INITIÉE PAR TELT

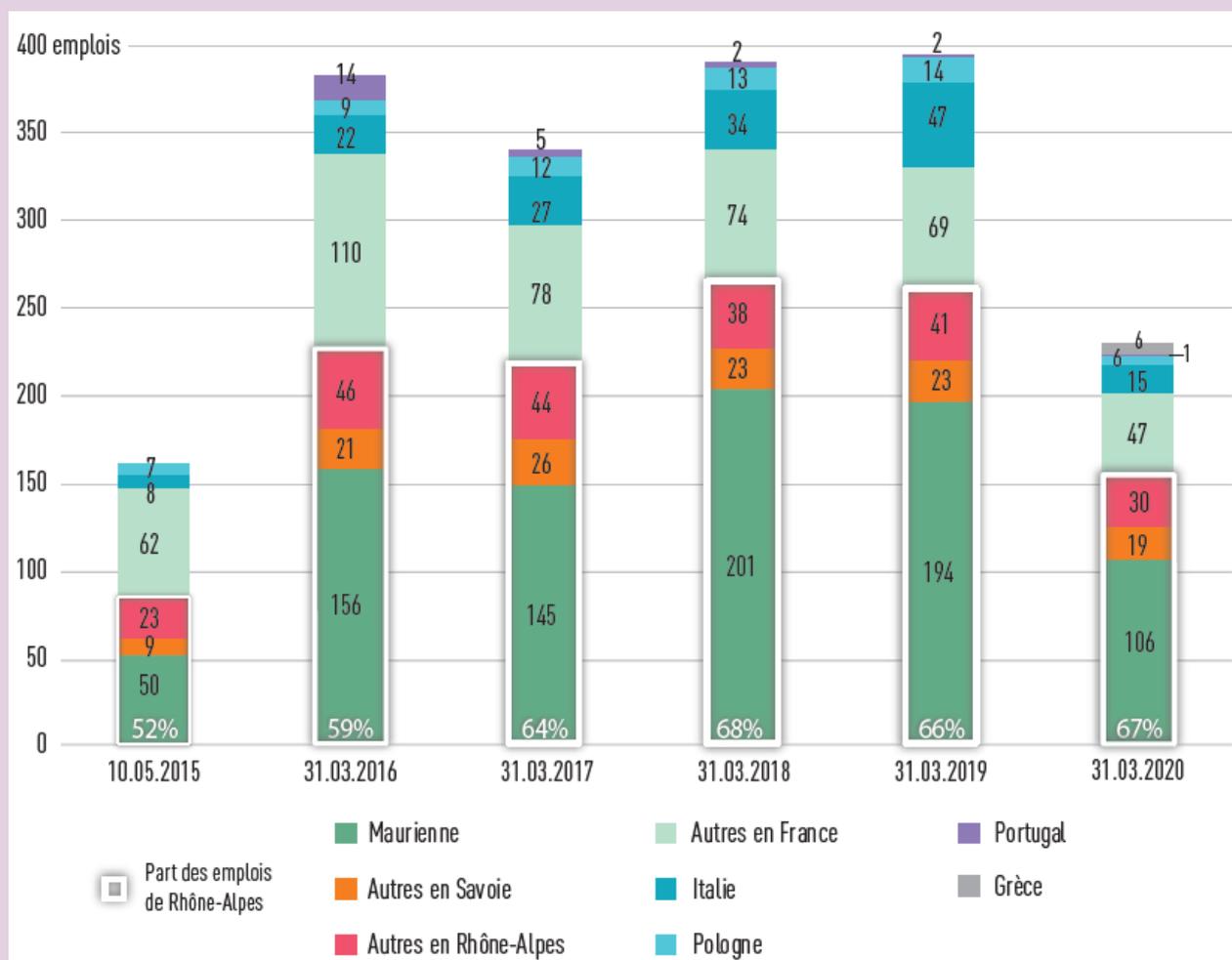
Début 2015, TELT signait un protocole d'accord pour l'emploi et l'insertion sur le chantier de la descenderie de Saint-Martin-de-la-Porte.

Ce protocole émane de la **démarche Grand Chantier du Lyon-Turin** lancée par l'État, la Région Auvergne – Rhône-Alpes et le Département de la Savoie.

L'accord vise à favoriser l'emploi local et l'insertion sociale pour aider au développement économique de la Vallée de la Maurienne. Il s'appuie sur l'étroite collaboration de tous les acteurs économiques locaux, les agences d'emplois, les entreprises, les élus... avec la direction de TELT et du groupement SMP4.

La priorité est de **donner de l'emploi aux habitants de la vallée ou alentours**, en leur permettant d'accéder à des formations dédiées aux métiers des travaux souterrains proposées par des organismes de formation locaux.

La démarche « Grand Chantier » évalue à **50 % l'objectif de recrutement de collaborateurs au niveau local et régional**. À ce jour, cet objectif a été dépassé, puisque **près de la moitié des emplois du chantier sont d'origine locale depuis 4 ans**.



Source : Observatoire Grand Chantier / Données-clés N°13 – Juin 2020

Concernant les salariés étrangers sous contrat de droit français, les chiffres indiqués concernent les emplois de personnels étrangers non-résidents en France au moment de leur embauche sur le chantier. Ils ne comprennent donc pas les salariés étrangers déjà résidents en France (Maurienne, Savoie ou autres) au moment de leur arrivée sur le chantier. Ceux-ci travaillent tous au sein des entreprises du groupement, ou en intérim, sous contrats de droit français.



@ [www.chantier.smp4.eu](http://www.chantier.smp4.eu)