



Second Tube du Tunnel Routier du Fréjus



**PRESENTATION DE L'OPERATION ET
QUELQUES RETOURS D'EXPERIENCE**

AFTES 1^{er} octobre 2024

La galerie de sécurité – plusieurs objectifs pour un même projet

Parallèle au tunnel Routier du Fréjus, le projet originel de la galerie de sécurité répond à plusieurs exigences réglementaires et besoins fonctionnels :

- Garantir la sécurité des usagers grâce à la construction de nouveaux abris tous les 400 m soit au total 34 abris
- Garantir l'accessibilité des services de secours dans le tunnel



Mais aussi :

- Réaliser de nouvelles stations techniques pour la gestion des équipements de la Galerie et du Tunnel
- Intégrer une nouvelle ligne Très Haute Tension à courant continu entre la France et l'Italie

Depuis le sommet franco-italien du 03/12/2012 (soit en cours de chantier) **Rex**, accueillir la voie de circulation sens Italie- France

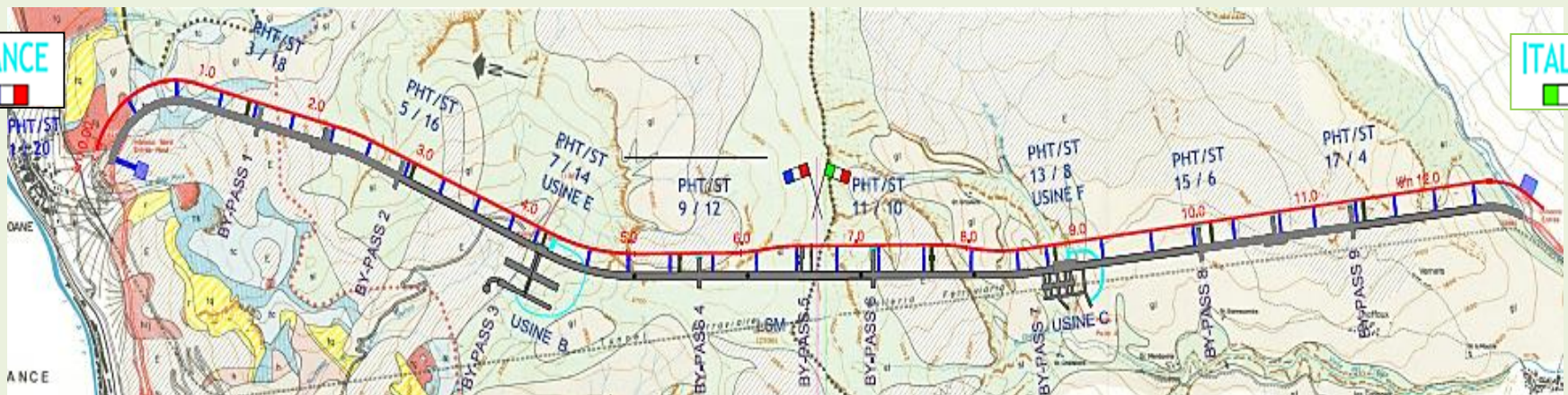
La galerie de sécurité devient donc un 2^{ème} tube circulé.

Le second tube – Caractéristiques principales

- » Diamètre interne : 8,00 m garanti (hors tolérances)
- » Longueur : 12,875 km - Distance moyenne du tunnel routier : 50 m (entre-axes)
- » Nombreux ouvrages garantissant une liaison avec le tunnel routier
 - 34 abris, inter-distance moyenne de 370 m
 - 9 by-pass carrossables, distants en moyenne de 1300 m permettant le passage des véhicules de secours entre les 2 tubes
 - 8 stations techniques souterraines + 2 extérieures
 - 2 centrales de ventilation (extraction massive des fumées) : l'une en France et l'autre en Italie

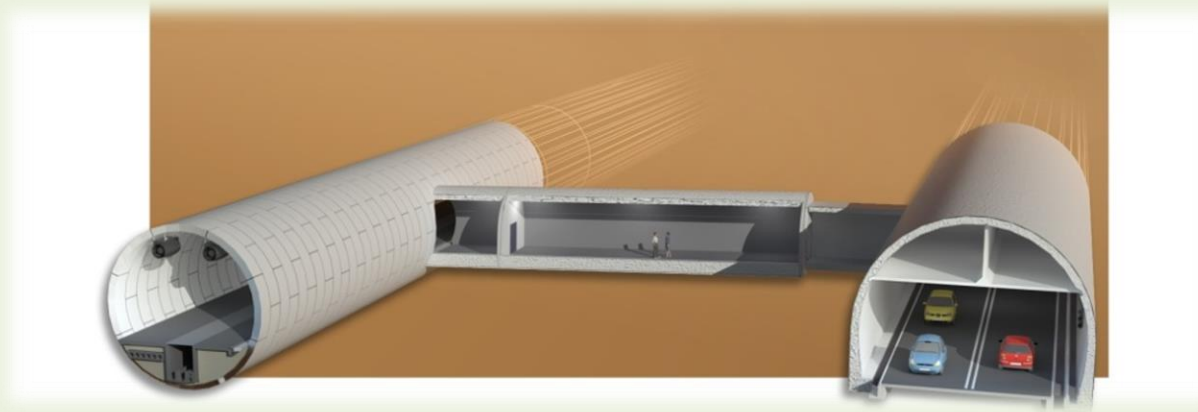
Légende :

- Tunnel du Fréjus
- Second tube
- Abris, by-pass

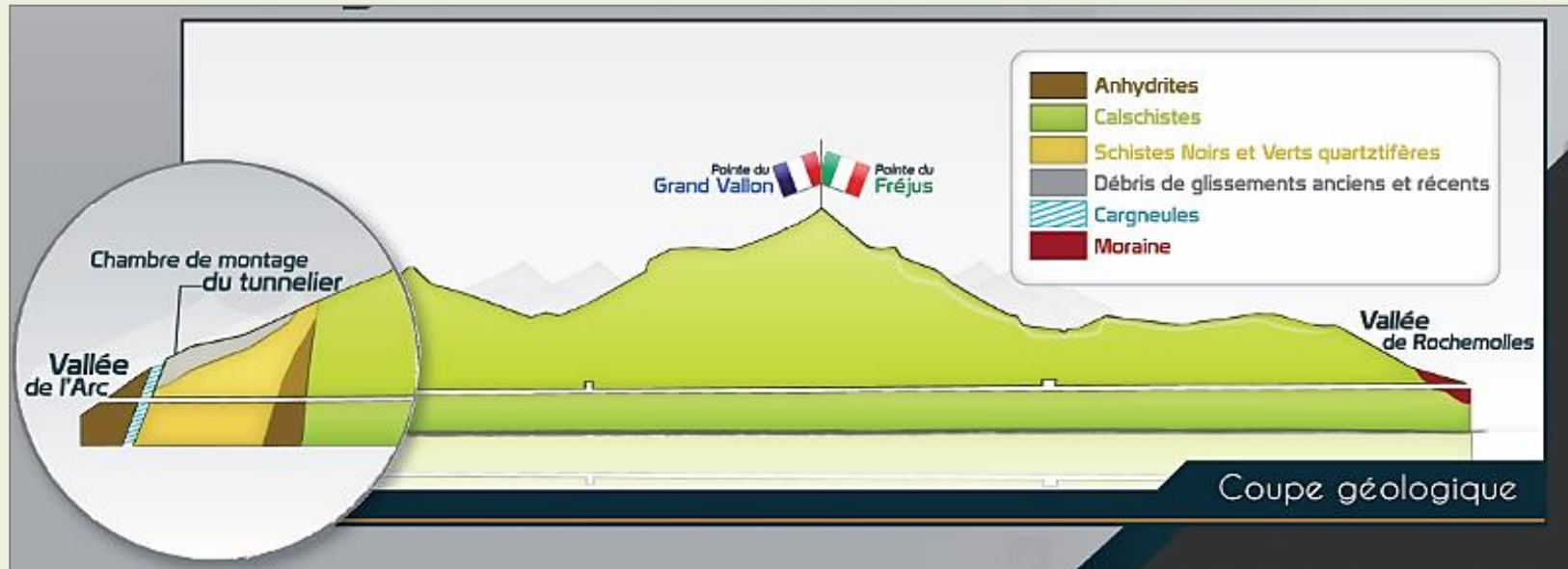


Le second tube – Contraintes de réalisation

- Maintien en exploitation du tunnel routier du Fréjus
- Plusieurs chantiers d'excavation simultanés :
 - Le tube principal (majoritairement TBM)
 - Les abris et ouvrages annexes (majoritairement explosif)
- Mise en service progressive des abris tout au long du chantier (échéances avril 2014 pour la partie française et 2019 pour la partie italienne) **Rex**



Le second tube – Réalisation du génie civil



Profil géologique

- Calcschistes (schistes lustrés) sur environ 80 % du tracé
- Couverture moyenne > 800 m sur plus de 6500 m de tracé
- Zones à très forte couverture, jusqu'à 1800 m (Pointe du Fréjus)

La problématique principale du chantier de creusement est liée à la nature convergente du massif rocheux
(en revanche, relativement peu de venues d'eau)

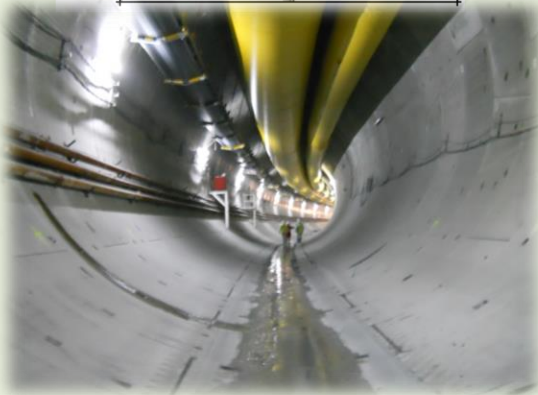
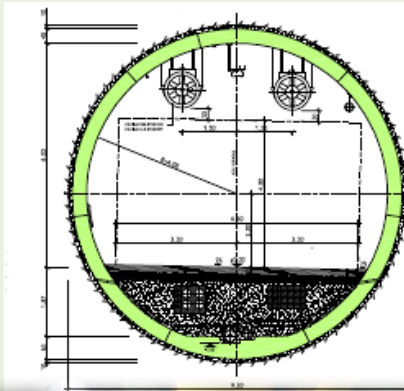
Le second tube – Réalisation du génie civil

Réalisation de la galerie principale

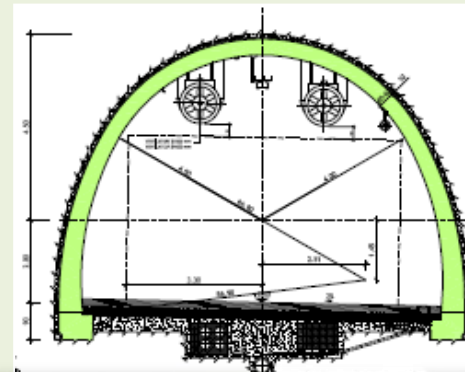
- Deux attaques indépendantes (côté France lot 1 et côté Italie lot 2).
- Creusement des zones des têtes et des ouvrages annexes à l'explosif.
- Creusement au tunnelier avec pose d'un revêtement préfabriqué, à partir d'une chambre de montage au PM 600 côté France.

Décision, en cours de chantier en 2012, de poursuivre le creusement au TBM jusqu'en Italie Rex

Section de la galerie excavée au tunnelier



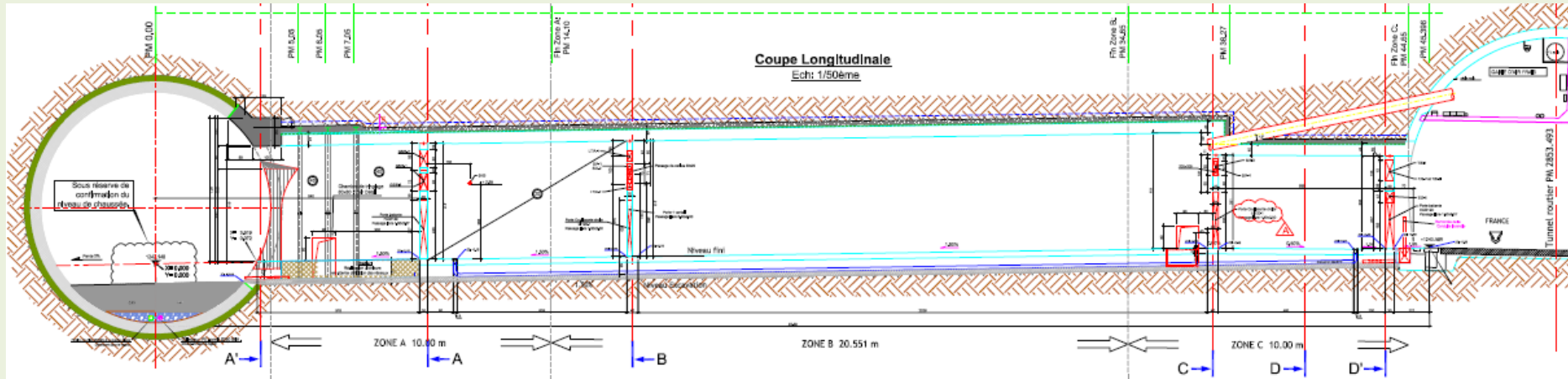
Section de la galerie excavée en traditionnel



Le second tube – Réalisation du génie civil

Les 34 abris

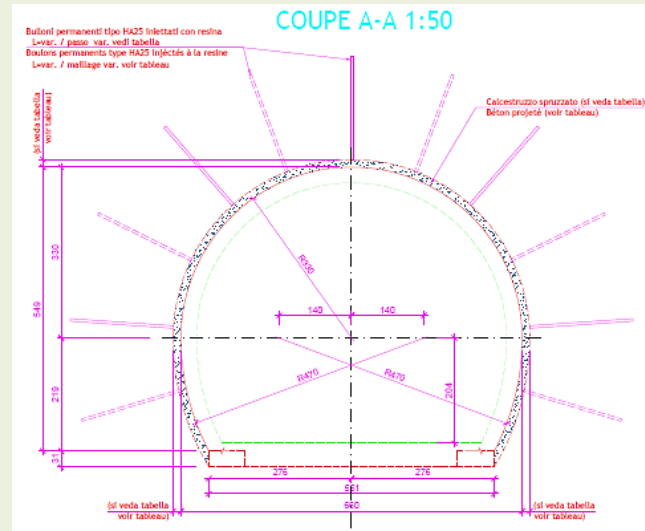
La ventilation de surpression en cas d'incendie est gérée par des ventilateurs situés dans les sas



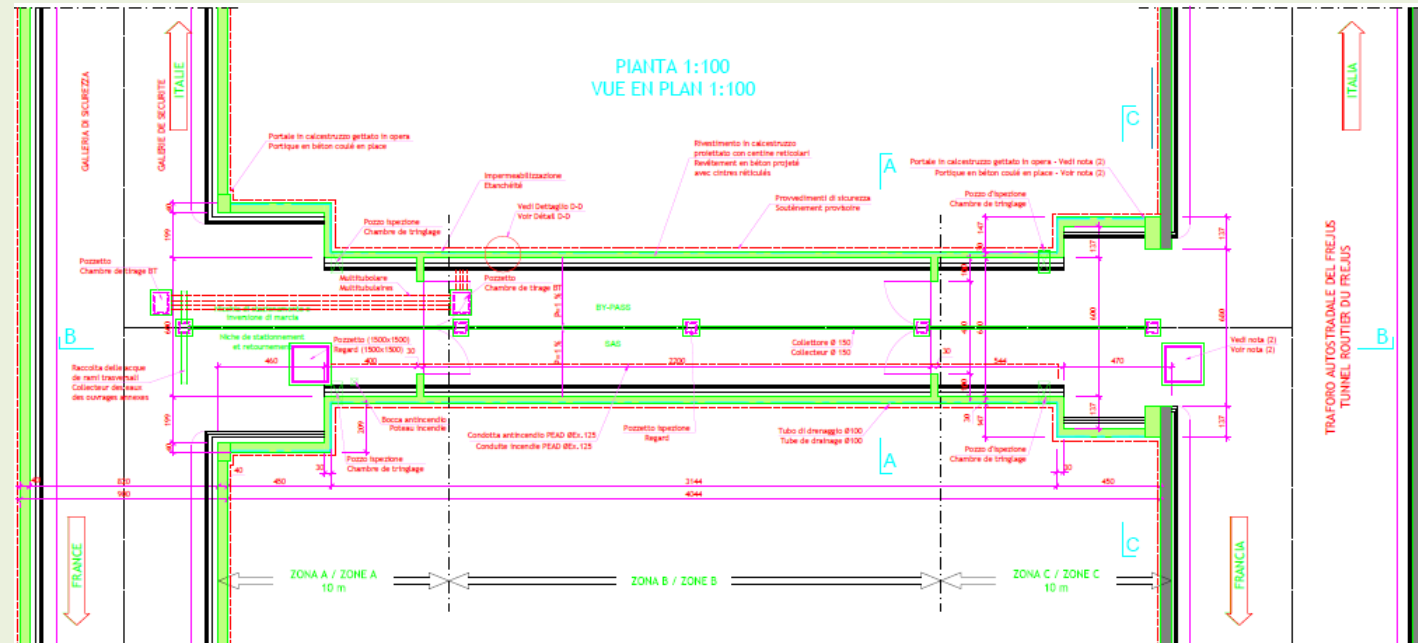
Le second tube – Réalisation du génie civil

Les 9 by-pass

la conception et le fonctionnement des portes intègre la problématique de delta pression inter tubes



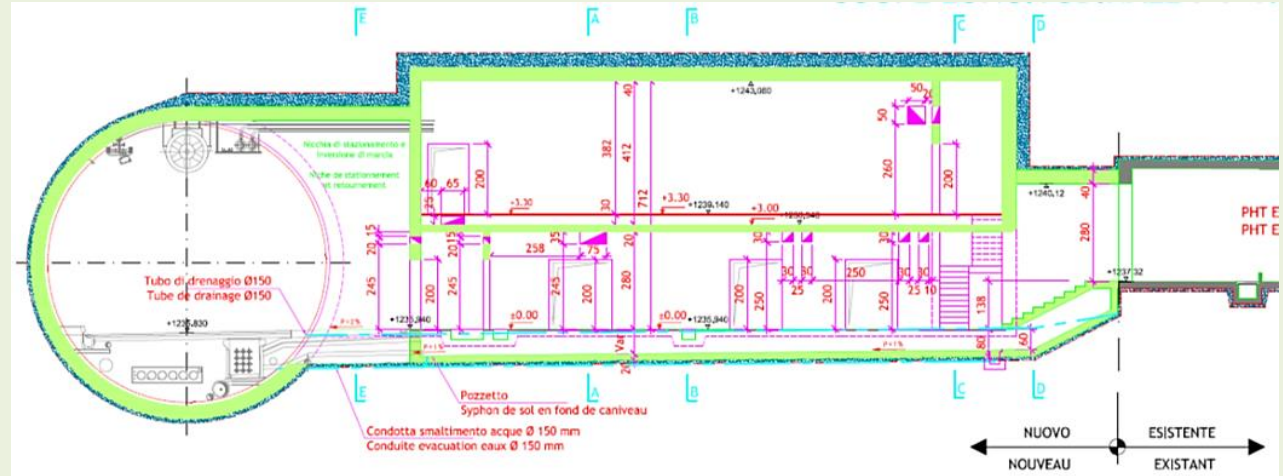
Intérieur du by-pass 3



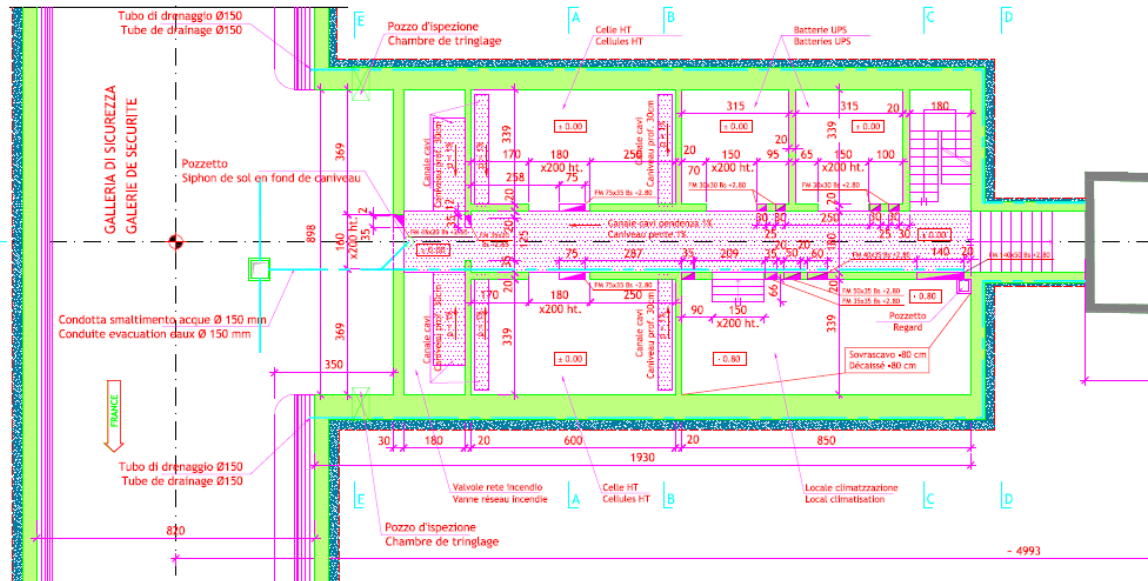
Le second tube – Réalisation du génie civil

Les 8 stations techniques

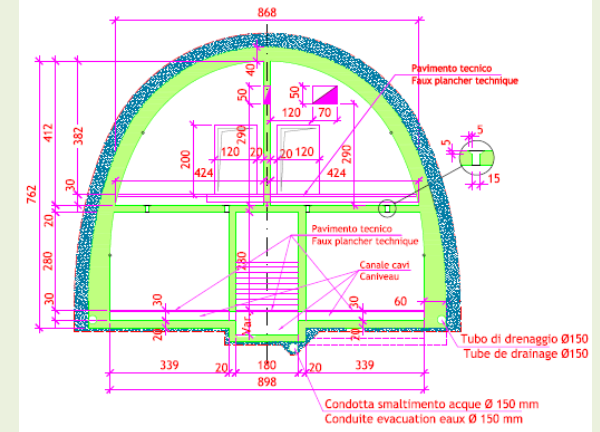
Alimentation et pilotage des équipements des tubes



VUE EN PLAN REZ-DE-CHAUSSÉE GENIE CIVIL 1:100



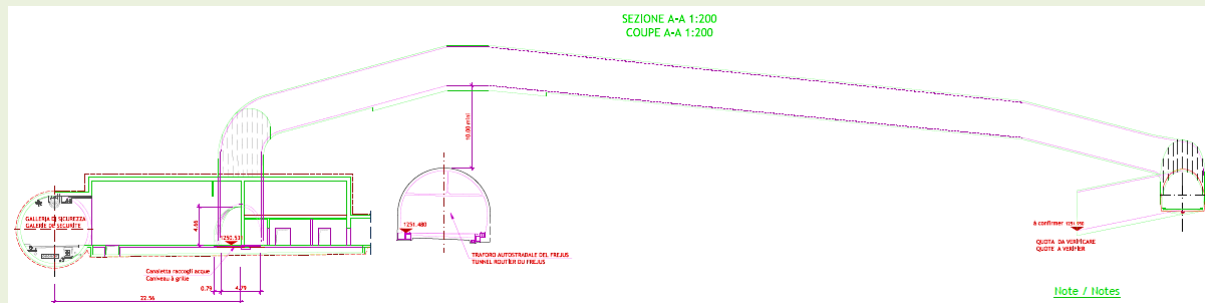
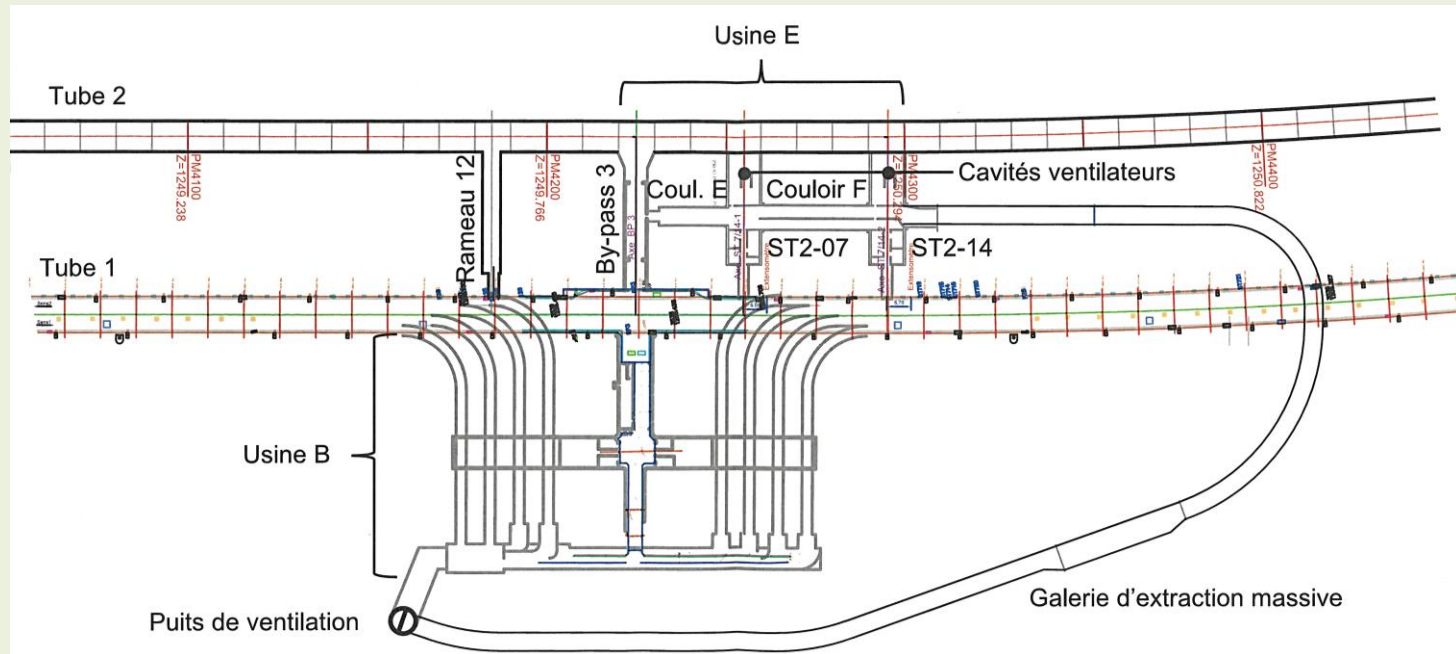
COUPE B-B 1:100



Le second tube – Réalisation du génie civil

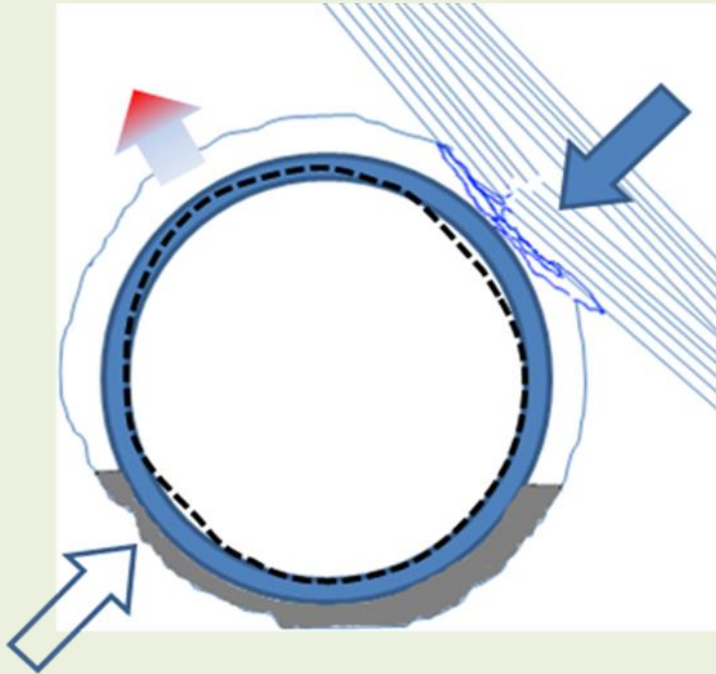
Les 2 usines de ventilation souterraines

extraction massive des fumées d'incendie sur
les 2 premiers tiers du tunnel



Le second tube – Réalisation du génie civil

Géologie : la principale difficulté du chantier



- Flambement de bancs de schistes orientés suivant un diamètre « $2h / 8h$ »
- Contact de blocs rocheux avec l'extrados de l'anneau avant le remplissage du vide annulaire



Le second tube – Réalisation du génie civil

Les caractéristiques principales du tunnelier

Poids total machine : 1 768 T
750 T pour le train suiveur

Puissance installée : total = 7800 kVA
entraînement de la roue = 4 200 kW

Poussée en service courant : 2 500 T

Longueur : 170 mètres



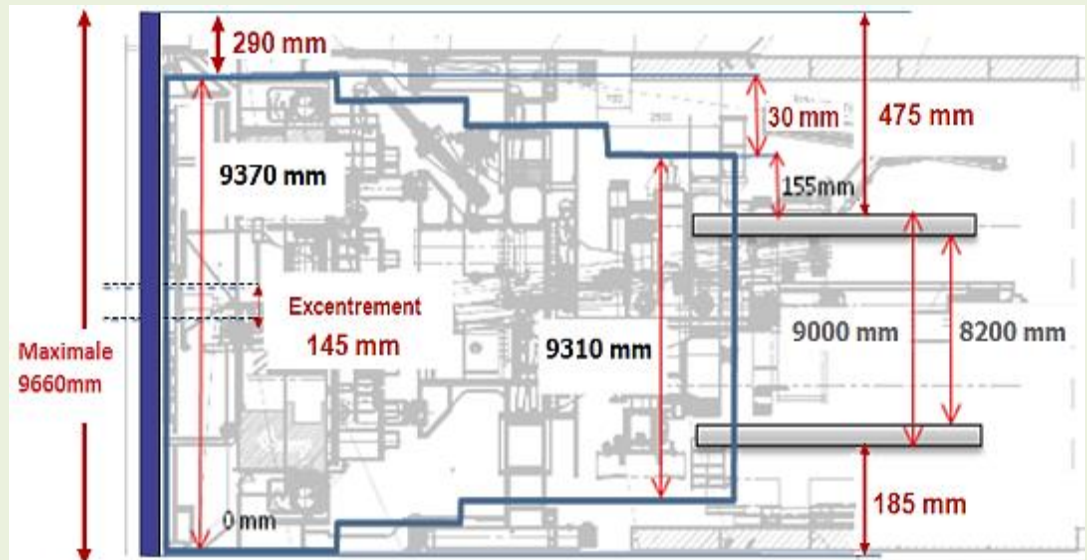
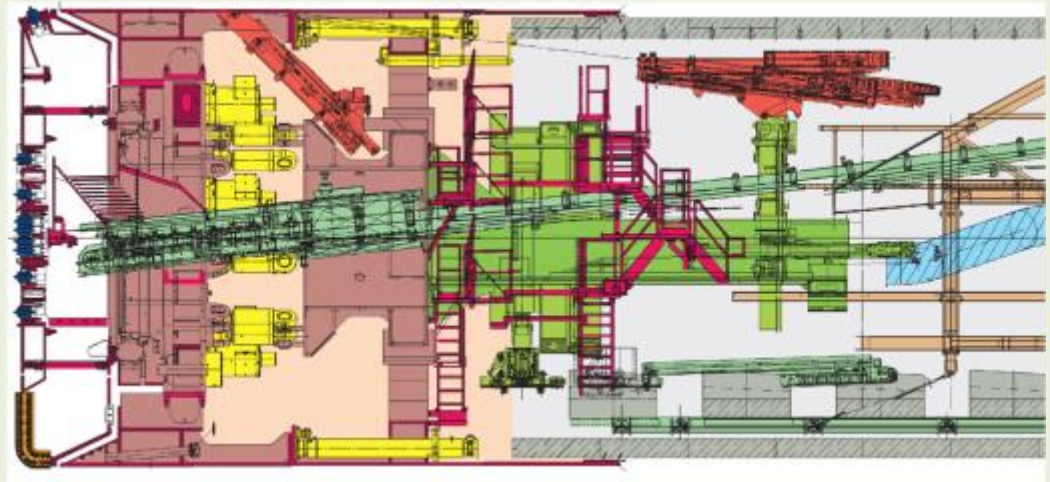
La conception du tunnelier

Tunnelier roche dure à simple jupe, adapté aux grandes déformations...

- Diamètre nominal : 9,46 m
- Bouclier court (simple jupe) : 11,20m
- Rex**
- Poussée de déblocage surdimensionnée : 100 000 kN

... et aux convergences

- Conicité 60 mm
- Vide annulaire élevé
- Possibilité de sur-excavation :
 - Surcoupe intermédiaire 190 mm
 - Surcoupe maximale 290 mm



La problématique des convergences et REX

- Arrêt de l'excavation au TBM le week-end : limite de « blocage du TBM » dans la 1^{ère} zone de convergences
- Le chargement localisé de l'anneau de voussoirs a parfois généré de la fissuration et/ou désaffleurements entre anneaux

Solutions testées :

- Fabrication de voussoirs sur ferrailles
- Essais divers en anticipation de la 2^{ème} zone de convergences (boulonnage à travers la jupe, surcoupe, remplissage du vide annulaire, vitesse passage / arrêt TBM...)



Le revêtement de la galerie principale

- Revêtement :
 - anneau universel de longueur 1,80 m
 - épaisseur 40 cm
- 3 types de voussoirs :
 - Type 1 : 85 kg/m^3
 - Type 2 : 130 kg/m^3
 - Type 3 : 285 kg/m^3



Fabrication des voussoirs



Stockage des voussoirs sur l'aire du Rieu-Sec

Le second tube – Réalisation du génie civil

La gestion des déblais

Volume de marinage produit par le lot 1 : environ 650 000 m³

Stockage dans une ancienne carrière sur la commune de Modane **Rex**

Réalisation d'une galerie de marinage pour l'évacuation des déblais **Rex**

- Longueur : 487 m
Perpendiculaire à la galerie de sécurité, entre la carrière SOCAMO et la galerie (PM 180)
- Section excavée 17 m²
4,20 m de hauteur - 4,40 m de largeur



Convoyeur à bandes

Bande descendante :

Transport des déblais
directement au lieu de stockage définitif
(carrière SOCAMO)
pour éviter les nuisances liées
à la circulation de camions.

Bande montante :

Transport de la gravette pour le
remplissage du vide d'extrados.
Transport du schiste 0/31,5 pour le
radier de 1^{re} phase.

Le second tube – Réalisation du génie civil

La gestion des déblais

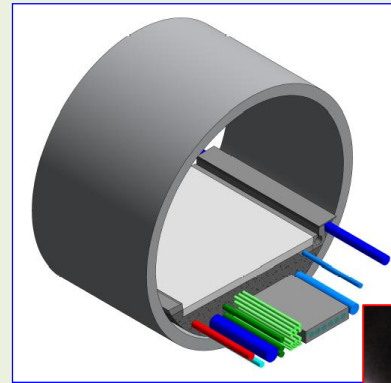
- Réutilisation des matériaux extraits
Afin de limiter l'impact sur l'environnement et de limiter le transport, une partie des matériaux extraits du tunnelier a été criblée et réutilisée pour la mise en place du radier provisoire.
- Stockage des matériaux dans l'ancienne carrière SOCAMO avec traitement paysager du site.



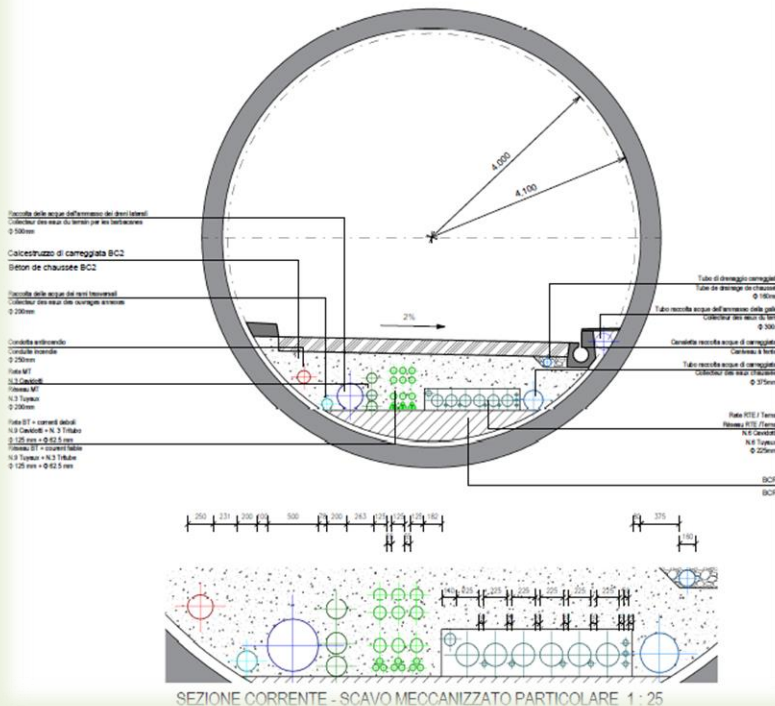
Le second tube – Réalisation du génie civil

Le radier

Très forte densité de réseaux particulièrement du fait de la présence de la liaison THT **Rex**

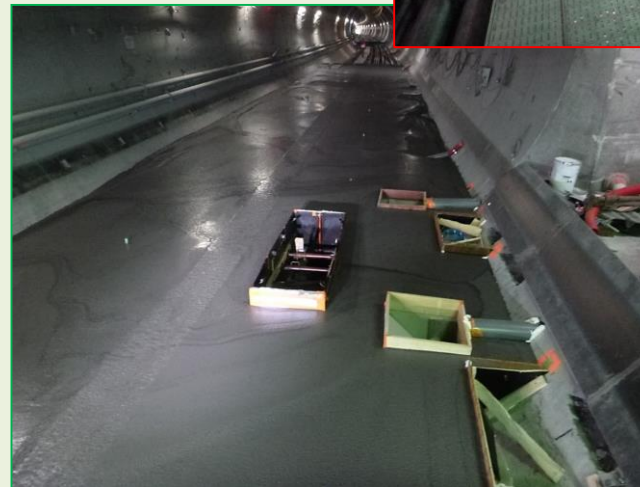


SEZIONE CORRENTE - SCAVO MECCANIZZATO 1 : 50
COUPE ACTUELLE - EXCAVATION MECANISE 1:50



SEZIONE CORRENTE - SCAVO MECCANIZZATO PARTICOLARE 1 : 25

*Réseaux / radier : bétonnage
du radier au droit d'un abri*



Le planning et l'avancement du lot 1 GC France

- Notification marché MOE travaux (groupement SYSTRA SEA SWS) : mars 2008 **Rex**
- Notification du marché génie civil France lot 1 (groupement RAZEL / IMPLENIA) avril 2009
- Démarrage creusement TBM France : juillet 2011
- Fin creusement lot 1 : février 2013
- 5 mois de révision du TBM puis poursuite creusement sur lot 2 génie civil Italie
- Fin de la mise en service progressive des abris côté France : mars 2014
- Fin creusement TBM et débouché en Italie : novembre 2014



- Reprise travaux ouvrages annexes (by-pass, stations techniques, usines...) : début 2015 – fin octobre 2017 **Rex**
- Démarrage travaux radier France : mi-2017
- Fin du lot 1 génie civil France : janvier 2020 (y compris tirage des câbles RTE et peinture des piédroits)

Le second tube – Les équipements

4 marchés principaux :

Marché M1

ventilation sanitaire et climatisation des locaux
techniques souterrains, défense incendie,
alimentation électrique, éclairage et signalisation

Marché M2

vidéosurveillance et détection automatique d'accidents,
radio, réseau d'appels d'urgence, détection incendie,
contrôle des accès et de la téléphonie

Marché M3

gestion technique centralisée, supervision, SAE
et réseaux de communication

Marché M4

Equipements de ventilation

et 1 marché de finitions diverses :

Marché M5 (entreprise GTA)

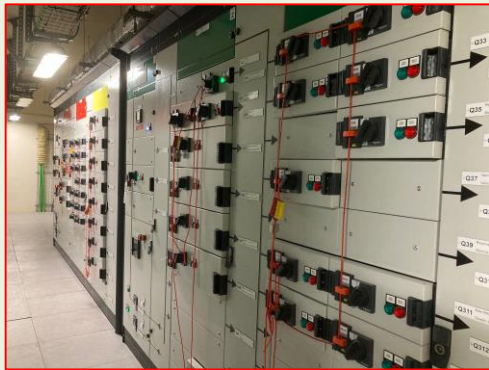
Compléments de peinture, métallerie et protection au feu
N3 des chambres de tirage sous chaussée

Le second tube – Les équipements

Marché M1 (*groupement CEGELEC MOBILITY – EIFFAGE ES CLEMESSY – EUROIMPIANTI – GEMMO – SINELEC*)

- Energie HT et BT (transfos, TGBT, chemins de câbles, câblages...)
- Eclairage : luminaires LED accrochés sous chemin de câbles
- Défense incendie: poteaux défense incendie (normes F et I), vannes manuelles et motorisées
- Ventilation sanitaire et climatisation des locaux techniques : 12 km de conduite air sanitaire installés en GAF du tube 1 et piquage pour chaque ouvrage annexe

Production de froid sur les 2 plateformes extérieures et installation de 2 x 12 km de conduite eau glacée en GAF du tube 1 et piquage vers les échangeurs thermique des locaux à climatiser



Armoires TGBT



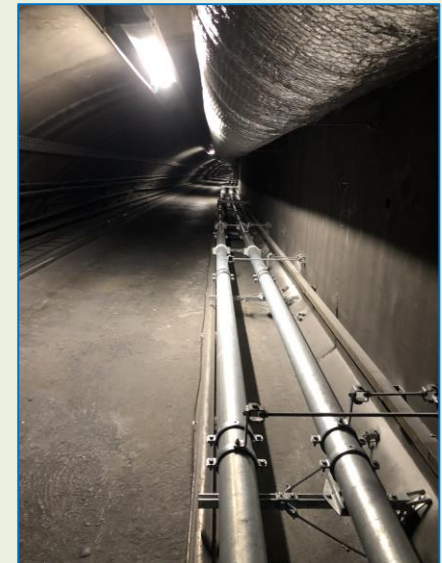
éclairage



Nourrice défense incendie



Échangeur thermique usine E



Ventilation sanitaire et réseau d'eau glacée GAF T1

Le second tube – Les équipements

- Signalisation : main courante avec plots de jalonnement et DP2a/DP2b, fil d'ariane avec éclairage de crise et DP2a/DP2b, PMV en voûte, barrières pivotantes, signalétique des niches PAU, des abris



Main courante et plots de jalonnement



Fil d'ariane



PMV en voûte



Barrière pivotante



Signalétique réseau d'appel d'urgence



Signalétique abri

Le second tube – Les équipements

Marché M2 (*groupement SPIE City Networks – Bouygues ES – TECNOSITAF*) Courants faibles

- Installation de caméras dans tous les locaux techniques et caméras VID / DAI en espace trafic (225 caméras DAI et 350 caméras au total)
- Système de couverture radio en espace trafic et locaux techniques y compris diffusion messages IMU dissociés dans chacun des 2 tubes
- Réseau d'appel d'urgence : installation de 3 niches entre chacun des 34 abris (espacement moyen de 80 à 100m)
- Détection incendie dans les locaux techniques : capteurs de détection, alarmes et report centralisé au PC
- Contrôle d'accès de tous les locaux techniques, portes de communication diverses
- Téléphonie dans les locaux souterrains



Contrôle d'accès
centralisé



Réseau d'appel d'urgence



Détection incendie ST 7-14



Caméra rameau

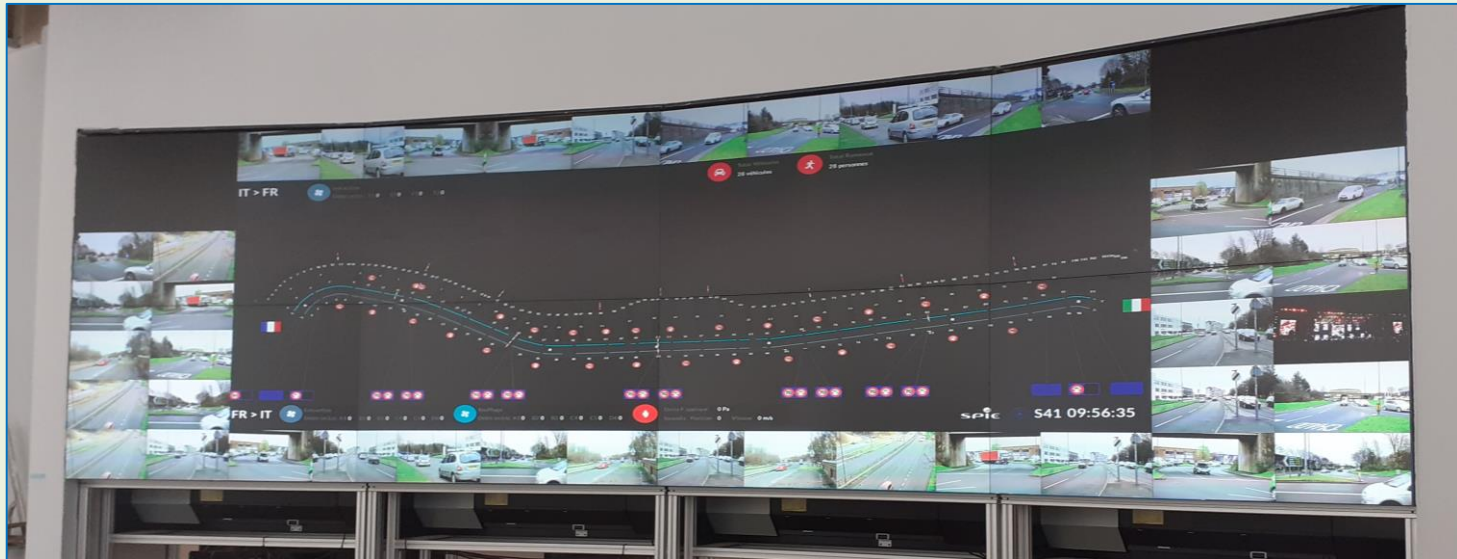
Le second tube – Les équipements

Marché M3 *(groupement SPIE City Networks – Bouygues ES – TECNOSITAF)* GTC, supervision, SAE et réseaux de communication

Principe : déploiement d'un nouvel outil de supervision unique permettant la gestion des équipements du nouveau tube mais également du tunnel actuel, pour les modes d'exploitation bi-tube monodirectionnel (mode nominal) et retour bidirectionnel dans le tube 1 (mode maintenance tube 2 notamment)

Complexité liée à l'intégration du SSCC actuel dans la nouvelle SUP, à la contrainte de mise en service sans fermeture longue du tunnel, à la multiplicité des points d'information à rapatrier et traiter pour le pilotage des 2 tubes (nombre estimé à plus de 150 000 points)

A noter: un nouveau bâtiment PCCI a été construit sur la plate-forme Italienne, ce qui permet le déploiement de la nouvelle SUP et la réalisation de tests dans le tube 2 sans perturber l'exploitation



Mur d'images nouveau PCCI

Le second tube – Les équipements

Marché M4 (Entreprise NIDEC)

Ventilation longitudinale dans l'espace trafic et extraction massive des fumées via 1 des 2 usines d'extraction massive

Ventilation longitudinale via 75 accélérateurs de 30 kW installés en voûte

Extraction massive via un des 2 extracteurs (redondance 100%) installés dans chacune des usines souterraines (environ 1 MW de puissance et 300 m³/s débit d'extraction)

Nota : des contrepressions défavorables (courant d'air F-I) pouvant aller jusqu'à 300/400 Pa (voire au delà plus exceptionnellement) doivent être prise en compte pour la maîtrise du courant d'air (4m/s du fait du transit de TMD)



Accélérateur en voûte espace trafic



Grille d'extraction usine E



Extracteur usine E

Le planning équipements

- Après appel d'offres, notification durant le premier semestre 2018 et lancement des études d'exécution **Rex**
- Démarrage des travaux entre août 2020 et février 2021 suivant les marchés
- Actuellement, les travaux d'installation des équipements sont achevés (travaux correctifs résiduels)
- Les différentes phases d'essais (essais systèmes, essais globaux) sont en cours
- Plusieurs fermetures du tunnel pour les différents essais à partir de décembre 2023 et jusqu'à début 2025 (interface avec le tunnel du Mont Blanc)
- Marche à blanc à partir de début 2025 et ouverture envisageable à partir du 2^{ème} trimestre 2025 ?

Puis :

Poursuite des travaux de mise en cohérence des équipements du tunnel actuel durant environ 1 an après la mise en service du second tube (tranches optionnelles des marchés).

Quelques éléments de Rex sur les travaux d'équipements

- Le changement de destination du second tube en cours de chantier et la reprise des études dans des conditions non optimales a probablement généré certaines lacunes dans le projet et les dossiers de marché
- Difficultés pour l'exploitant de cerner précisément ses besoins au stade du projet : demandes d'évolutions « tardives » pouvant perturber le déroulement du chantier
- Les problèmes techniques rencontrés sur le chantier trouvent très souvent leur origine dans les interfaces entre marchés (mais obligation d'allotissement...)
- Difficulté à réaliser les différentes phases d'essais selon le processus théorique : essais unitaires, EAS, EAG...des retards ou corrections à mener sur certains métiers nécessitent des « retours arrières »
- Intérêt de passer par une phase d'essais en PFMM avant les essais globaux sur site : voire même outil essentiel et incontournable (yc pour l'exploitant)
- Au-delà de la complexité du projet, du volume d'équipements, difficulté liée au maintien en exploitation du tunnel actuel (les besoins de fermeture de longue durée pour les essais impactant le tube 1 ont toujours tendance à être sous-estimés)
- Ne pas sous-estimer le temps et les besoins de formation des futurs OPE/REG à la maîtrise du nouvel outil de supervision

Et enfin, difficultés liées au contexte transfrontalier de ce projet (différences normatives, différences réglementaires sur les processus de mise en service...et différences culturelles de gestion de ces gros projets...)

Le second tube – Le coût

Le coût de l'ensemble de l'opération est évalué actuellement à environ 750 millions d'euros (euros courants) dont plus de 120 millions de travaux d'équipements.

- Le coût de l'opération est partagé à 50% par les 2 sociétés concessionnaires SFTRF et SITAF
- L'opération est très majoritairement financée par des augmentations de péage du tunnel.