

JOURNÉE SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

OUVRAGES REMARQUABLES
ET EVOLUTION DES PRATIQUES

SAINTE BARBE DES 4S
(SOCIÉTÉ SAVANTE DU SOUS-SOL)

Organisé par :



4 DECEMBRE 2025
SETEC
42-52 QUAI DE LA RAPÉE
75012 PARIS
13:30 À 18:00

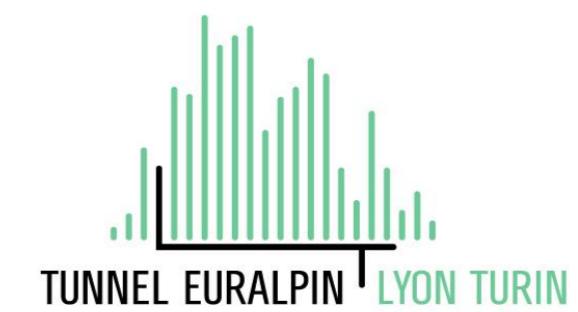


LE TUNNEL DE BASE DU MONT-CENIS

CONDITIONS DE CREUSEMENT D'UN AMAS ROCHEUX CRISTALLIN A PLUS DE 2000 M DE PROFONDEUR

Lorenzo Brino

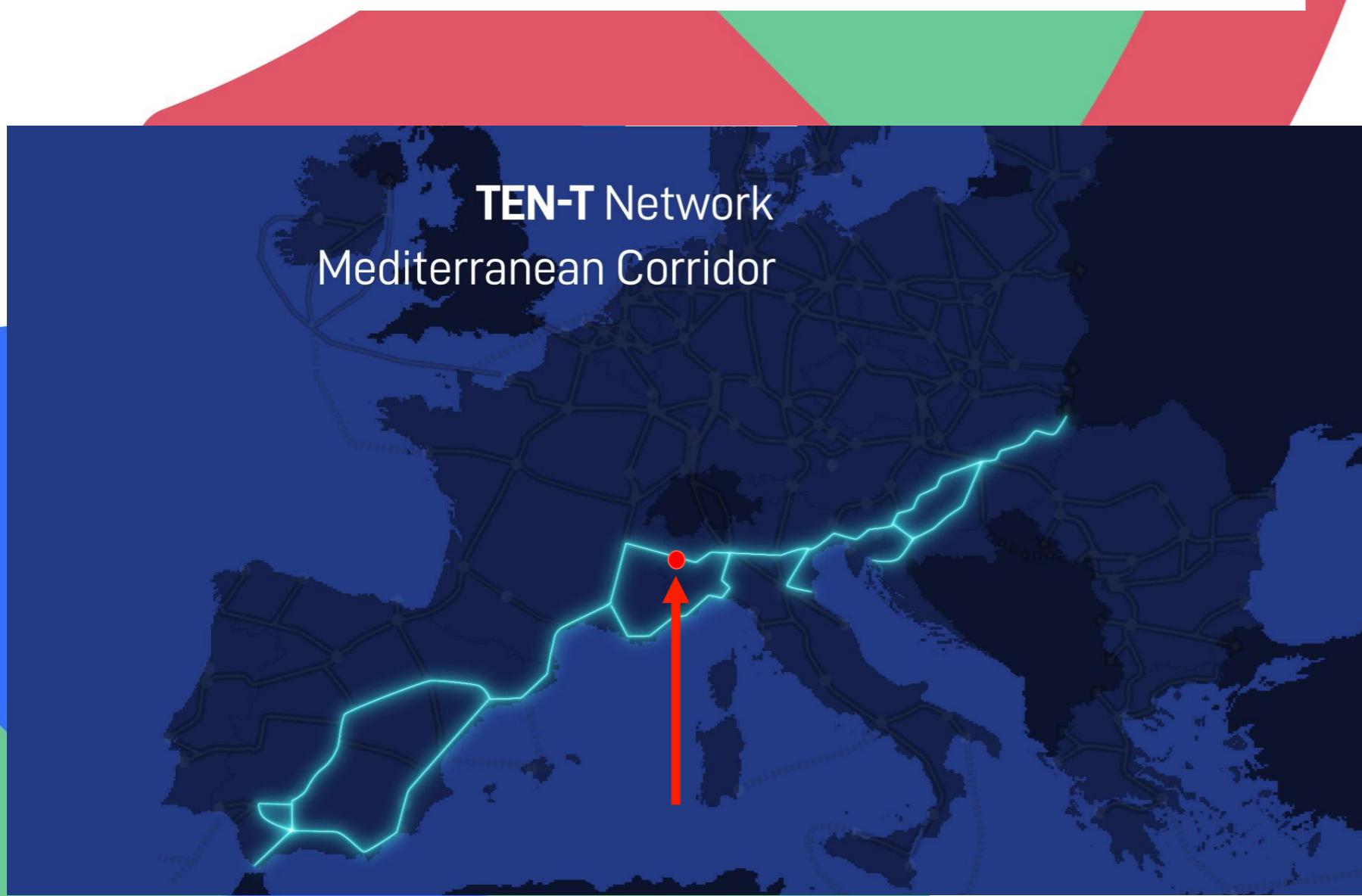
Jean Mandel Lecture



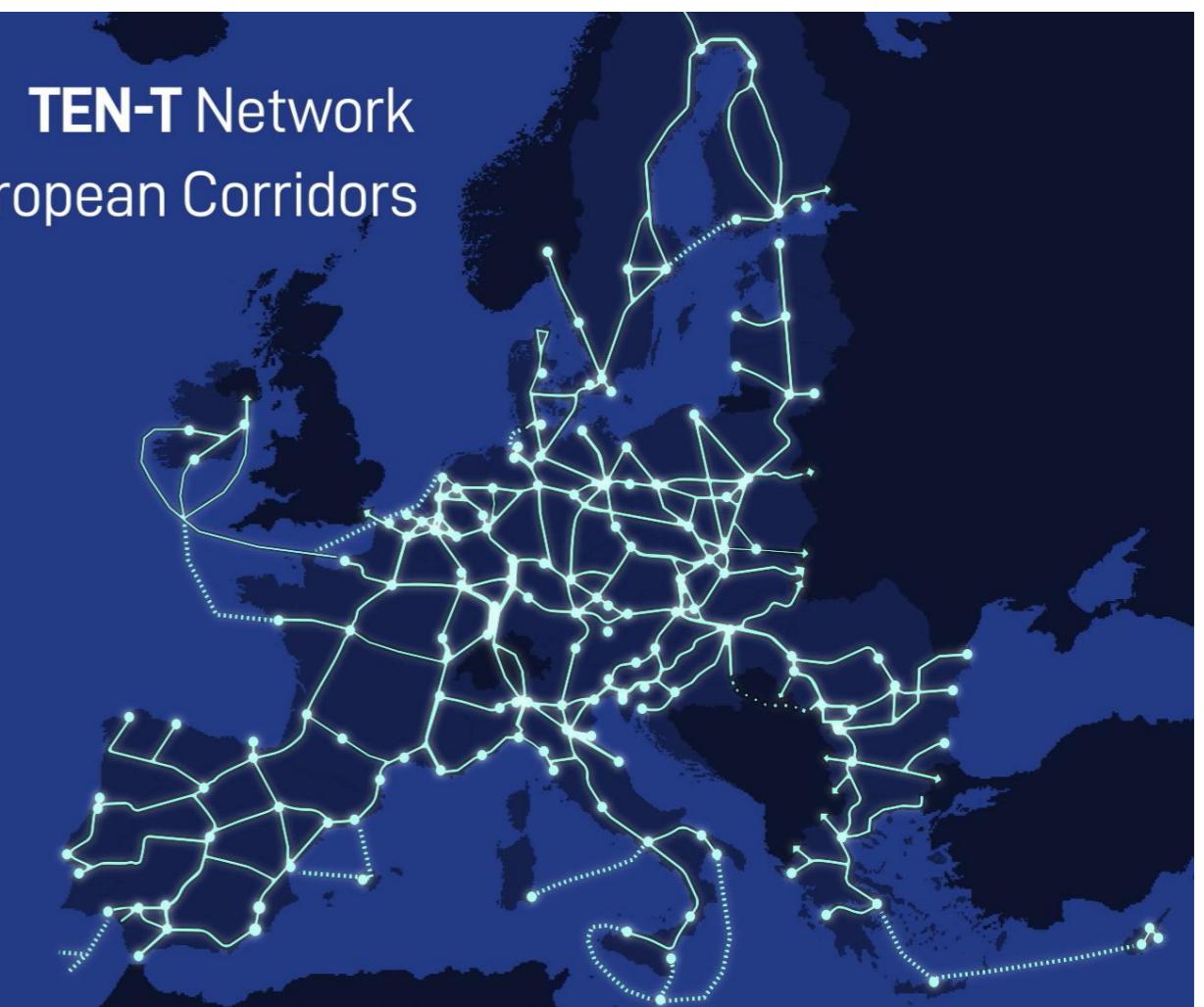
Paris 4/12/2025

LE LYON-TURIN AU CHŒUR DU RÉSEAU RTE-T

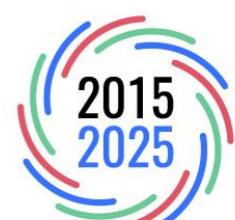
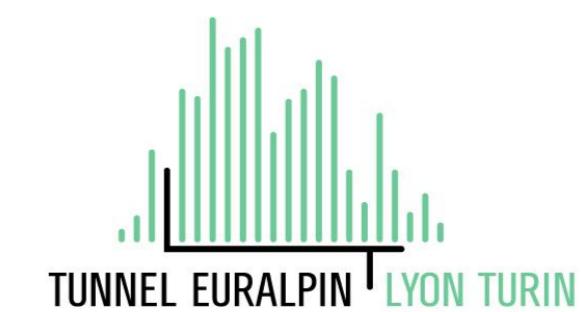
Le Lyon-Turin est le maillon central du corridor méditerranéen (l'un des 9 axes du réseau européen de transport RTE-T), qui couvre 3 000 km et relie 7 corridors de l'UE d'est en ouest



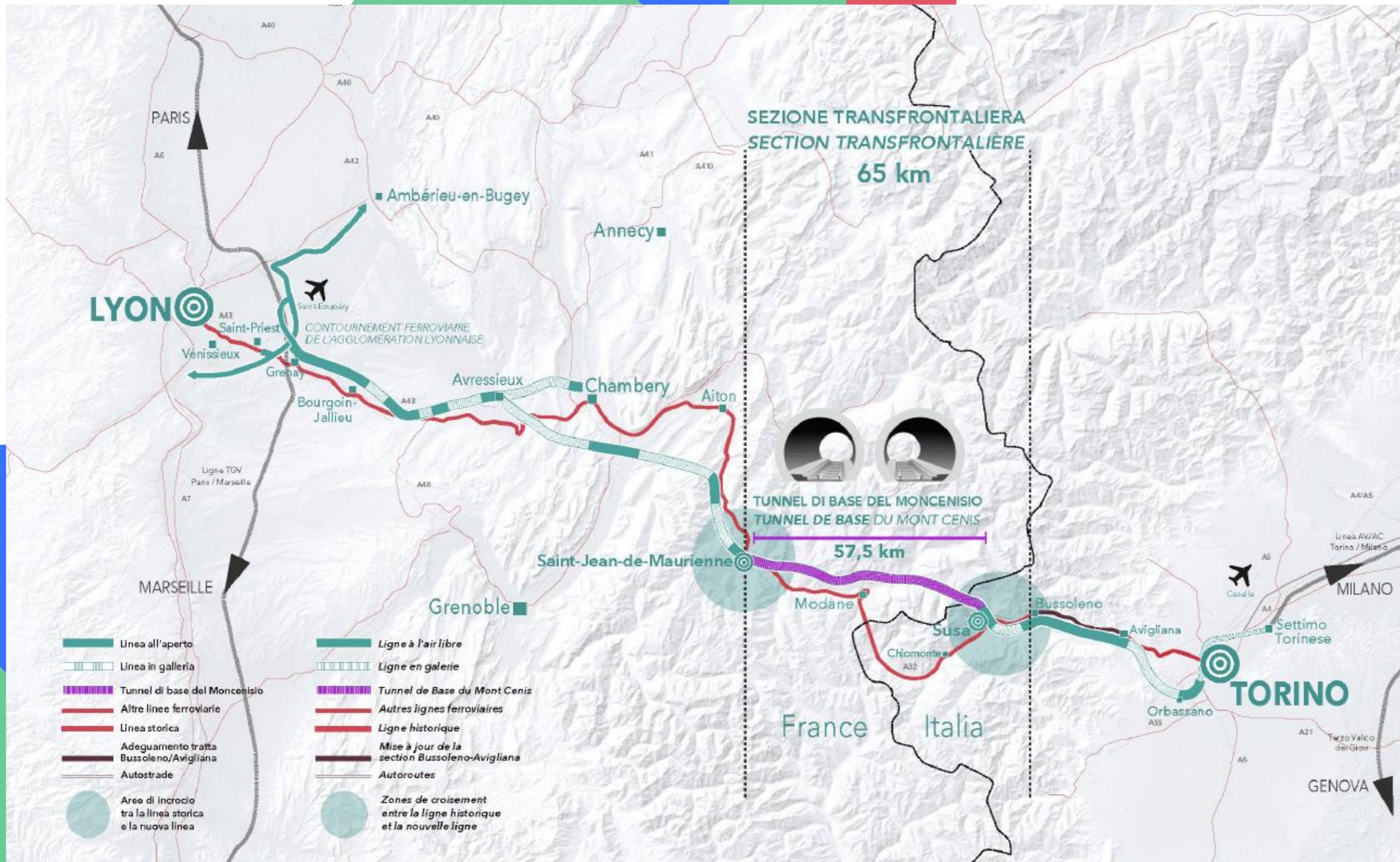
TEN-T Network
European Corridors



La section actuellement en construction par TELT est la section transfrontalière entre la France et l'Italie, de Saint-Jean-de-Maurienne (Savoie) à Susa/Bussoleno (Piémont), longue de 65 km, dont l'ouvrage majeur est le tunnel de base du Mont-Cenis



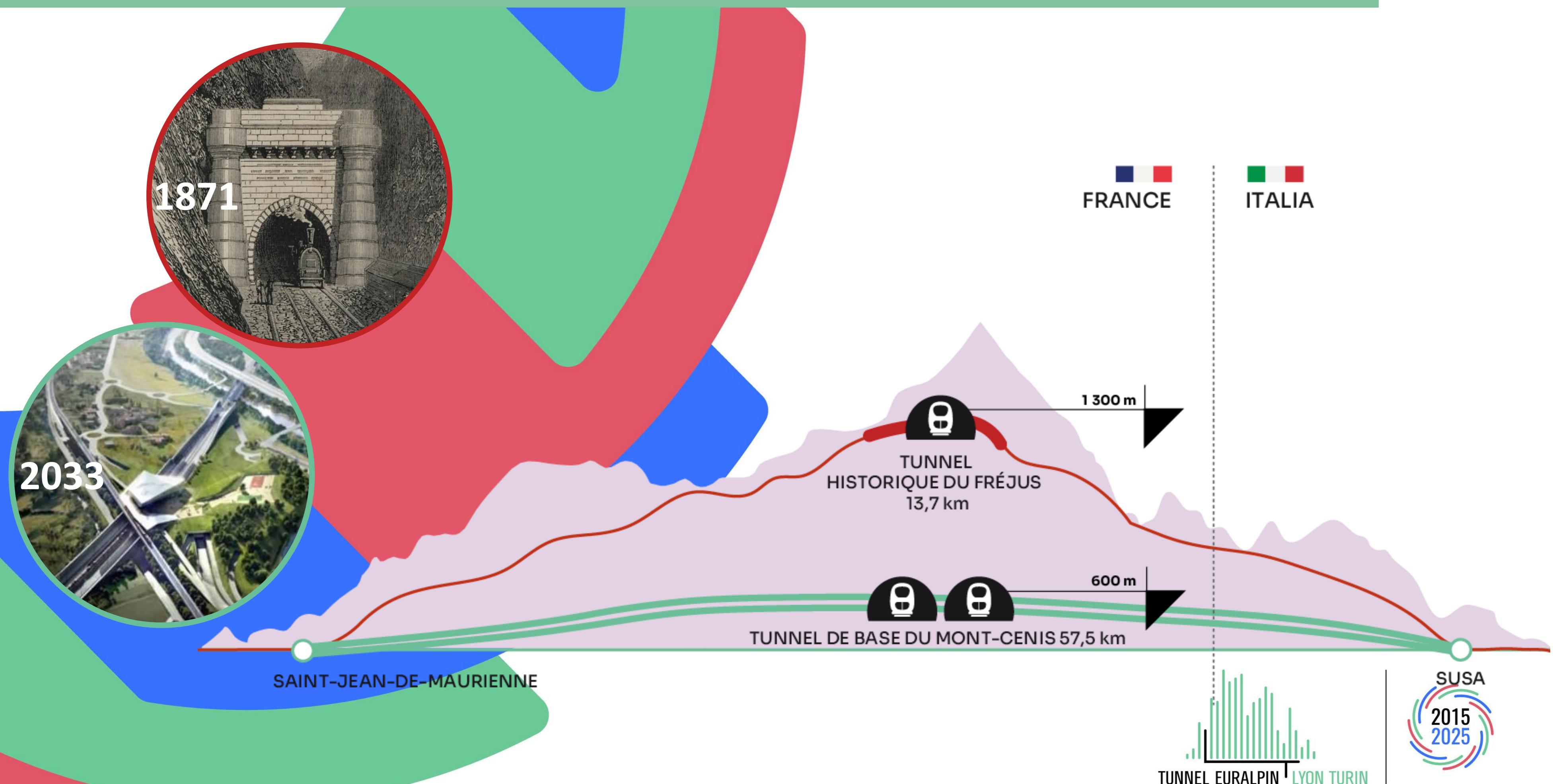
LE TRACE DE LA NOUVELLE LIAISON FERROVIAIRE LYON-TURIN



TUNNEL EURALPIN LYON TURIN

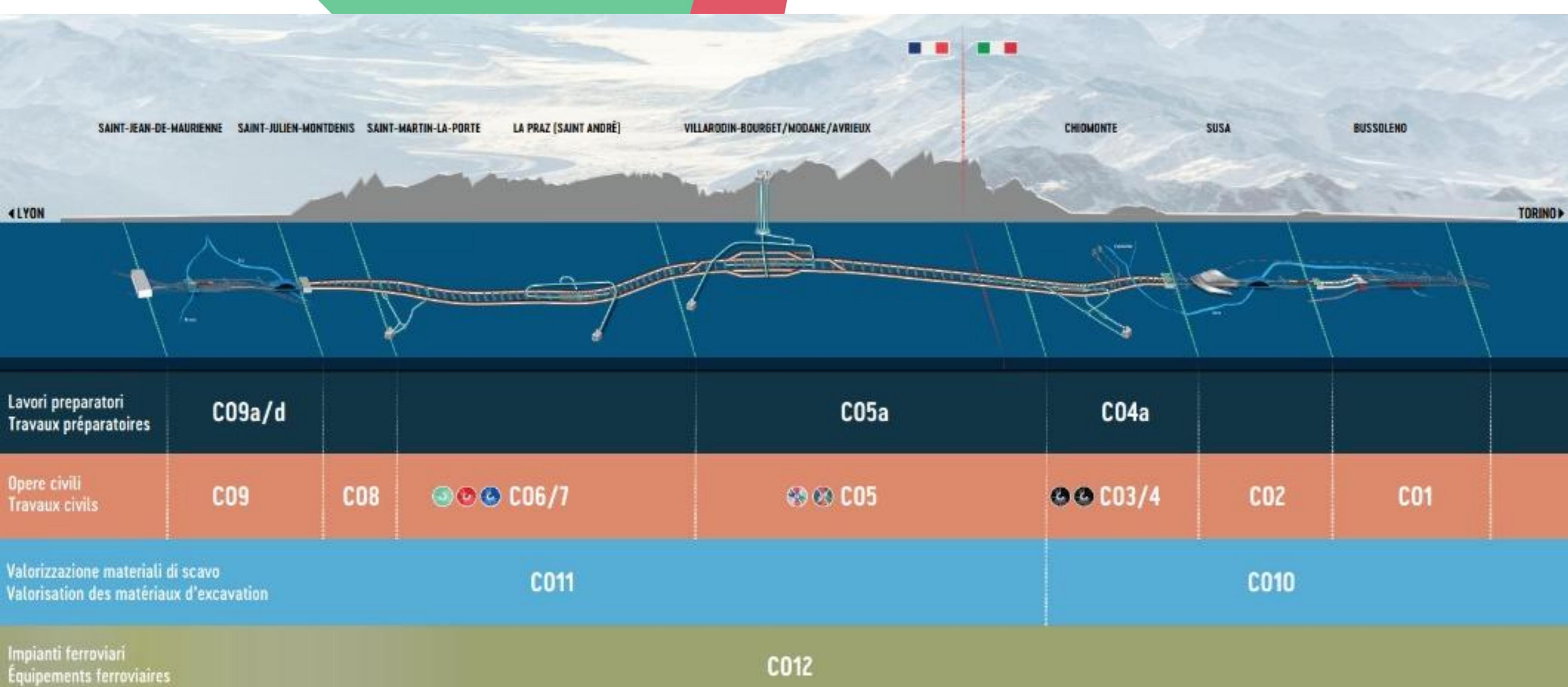


DU TUNNEL DU FRÉJUS AU TUNNEL DE BASE DU MONT-CENIS



12 CHANTIERS OPÉRATIONNELS ENTRE LA FRANCE ET L'ITALIE

164 km d'ouvrages en souterrain, repartis en 9 sites constructifs, auxquels s'ajoutent 2 chantiers opérationnels pour la gestion des matériaux excavés et un chantier unique pour l'équipement ferroviaire



L'ÉTAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX DU TUNNEL DE BASE

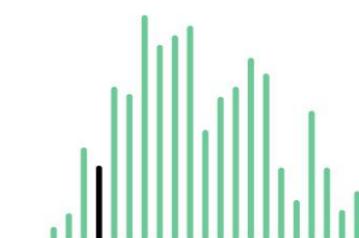
100%
travaux de génie
civil attribués dans
les deux pays

46 km
de galeries réalisées sur
un total de 164

5
TBM réceptionnés
sur un total de 7

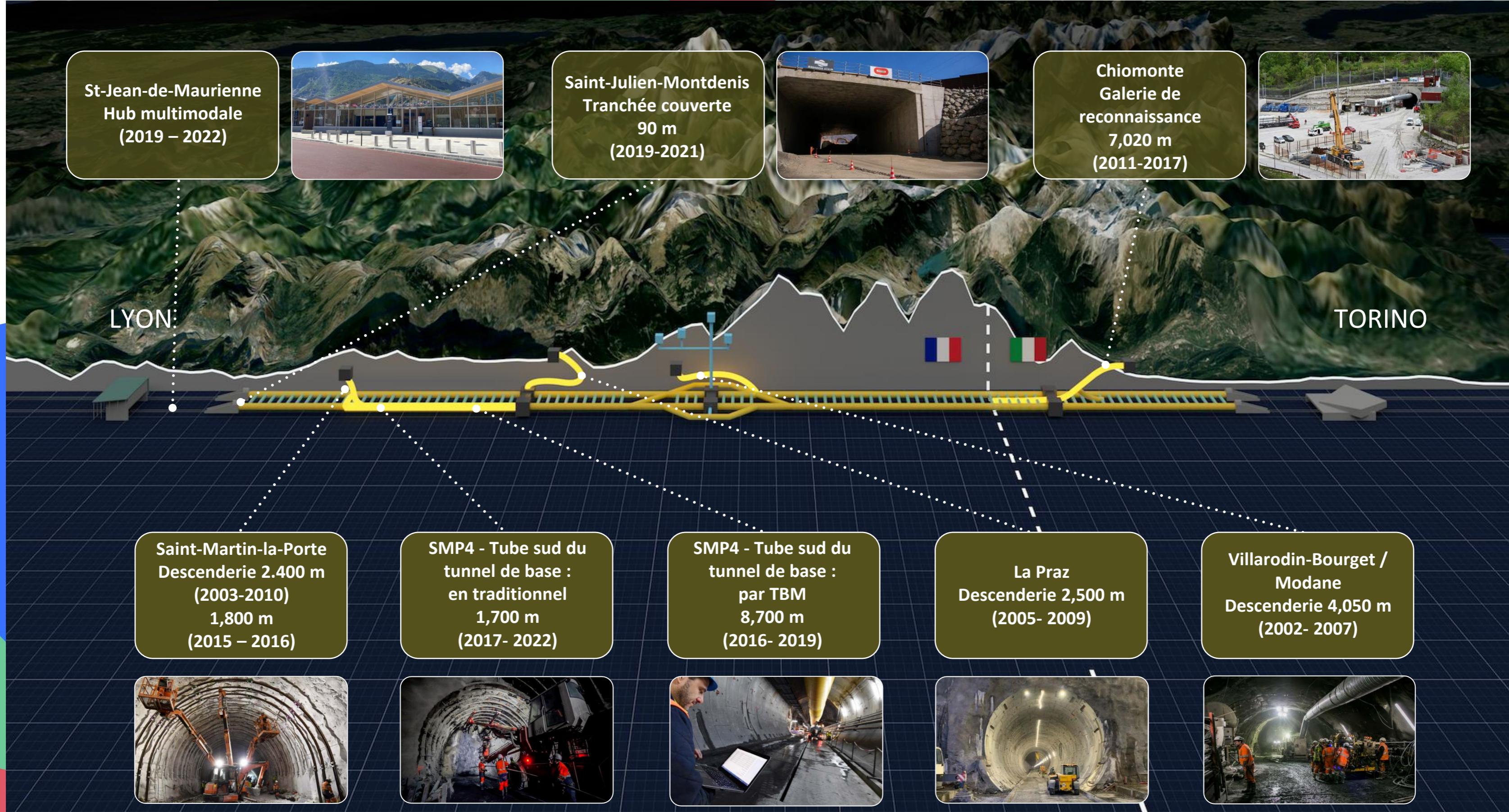
8.7 MLD €
de marchés
attribués

+ 3 500
personnes sur les
chantiers



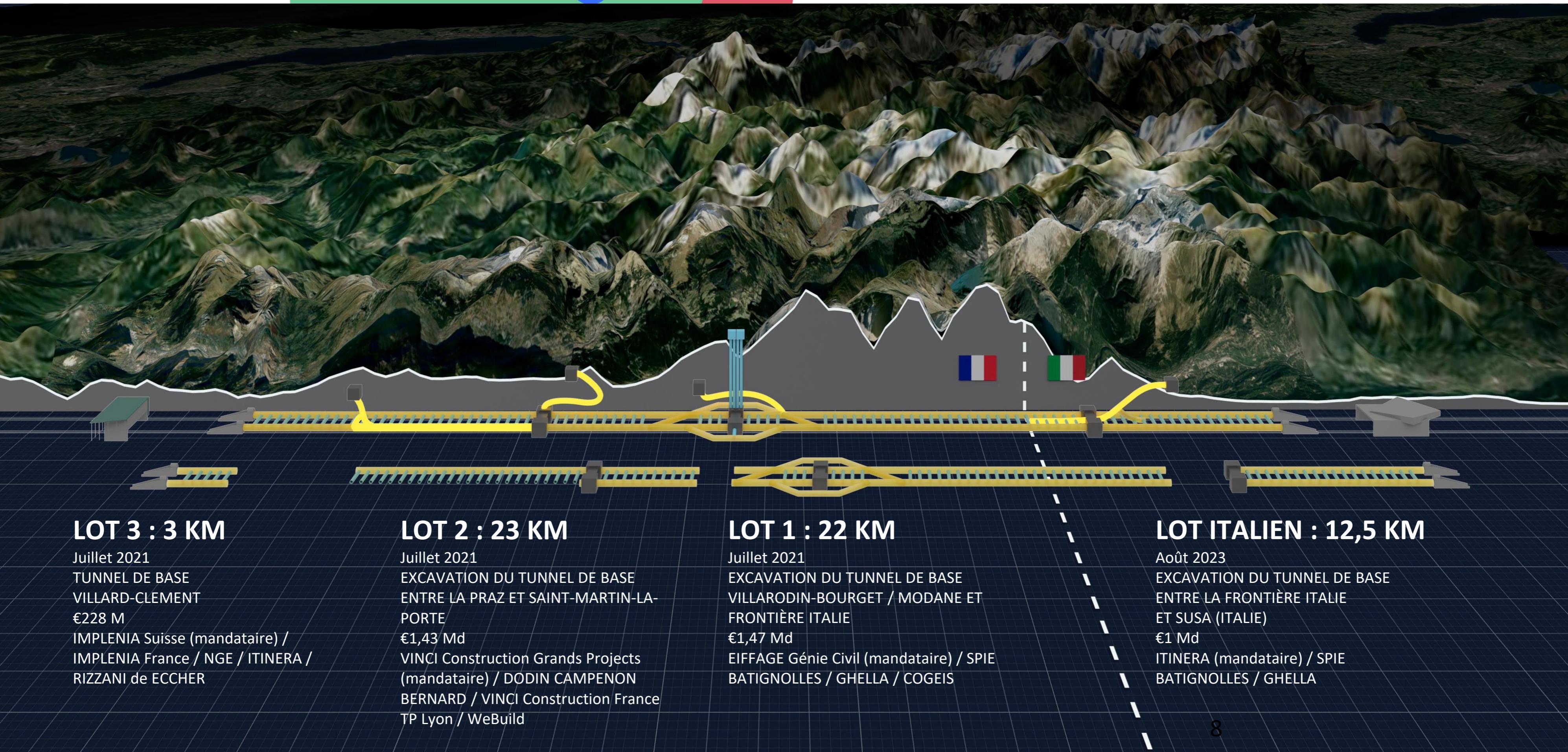
TRAVAUX ACHEVÉS

A ce jour, 19 km du tunnel de base du Mont-Cenis ont été creusés



TUNNEL DE BASE : TRAVAUX ATTRIBUÉS

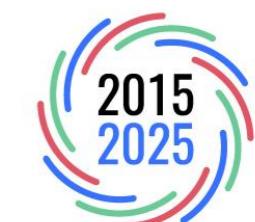
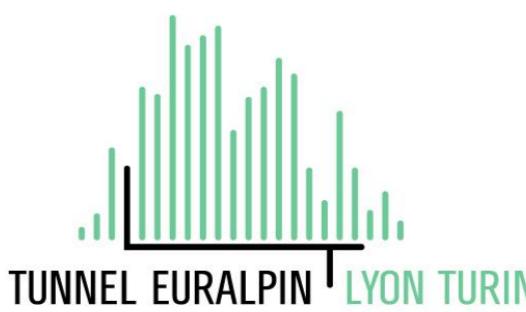
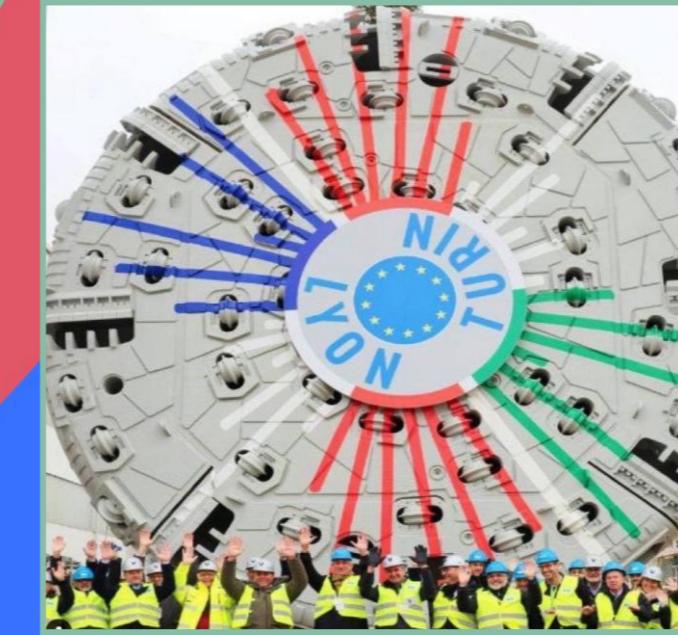
Les chantiers du tunnel de base montent en puissance



SEPT TUNNELIERS CREUSERONT VERS L'ITALIE

Au plus fort de l'activité en 2027, 7 tunneliers avanceront simultanément pour percer les deux tubes de 57,5 km de long, soit 60 % de l'excavation totale

Montées et démontées au fond des descenderies, ces impressionnantes machines creusent, posent le revêtement du tunnel et évacuent les matériaux excavés simultanément, à une vitesse pouvant arriver jusqu'à 15-20 mètres par jour



LA STRATÉGIE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Le volume total des matériaux à extraire est estimé à environ 30 millions de tonnes, dont 23 millions du côté français et 7 millions du côté italien. 50 % de ces matériaux seront valorisés et réutilisés pour les besoins du projet

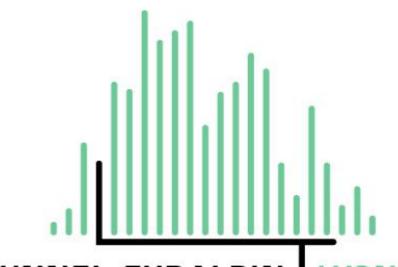


Un chantier binational transversal pour équiper la partie française et la partie italienne du tunnel de base et les parties à l'air libre





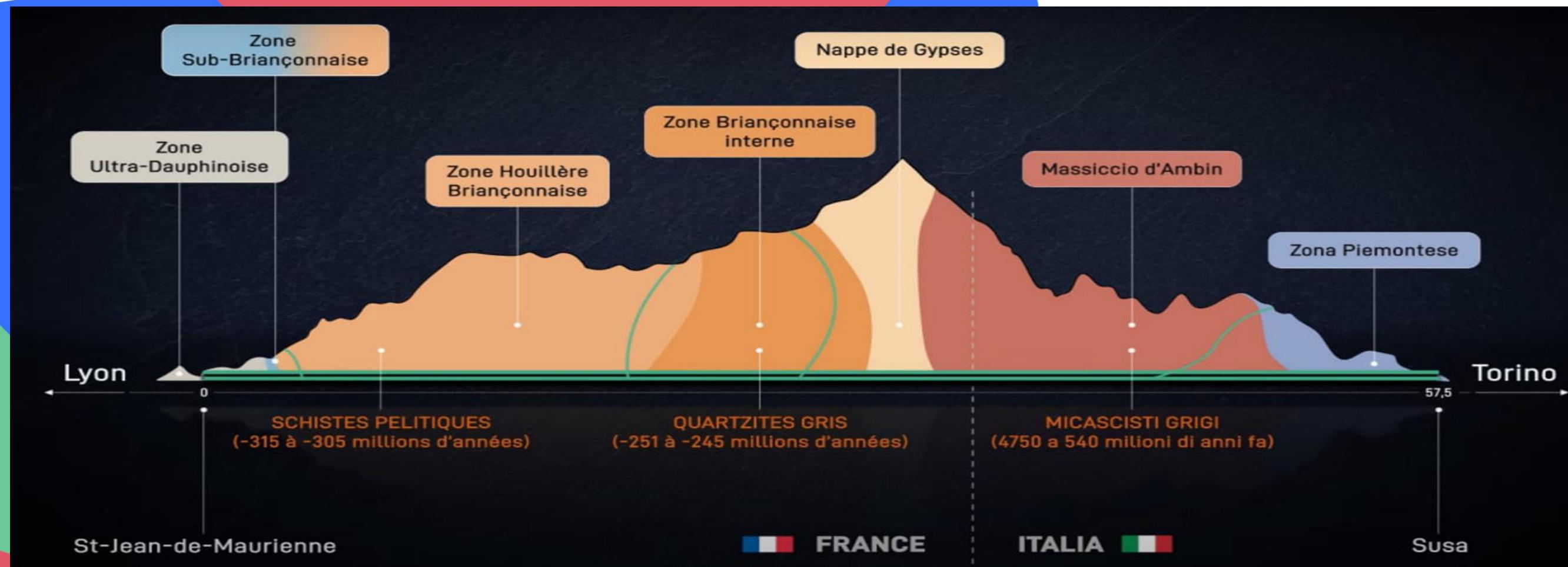
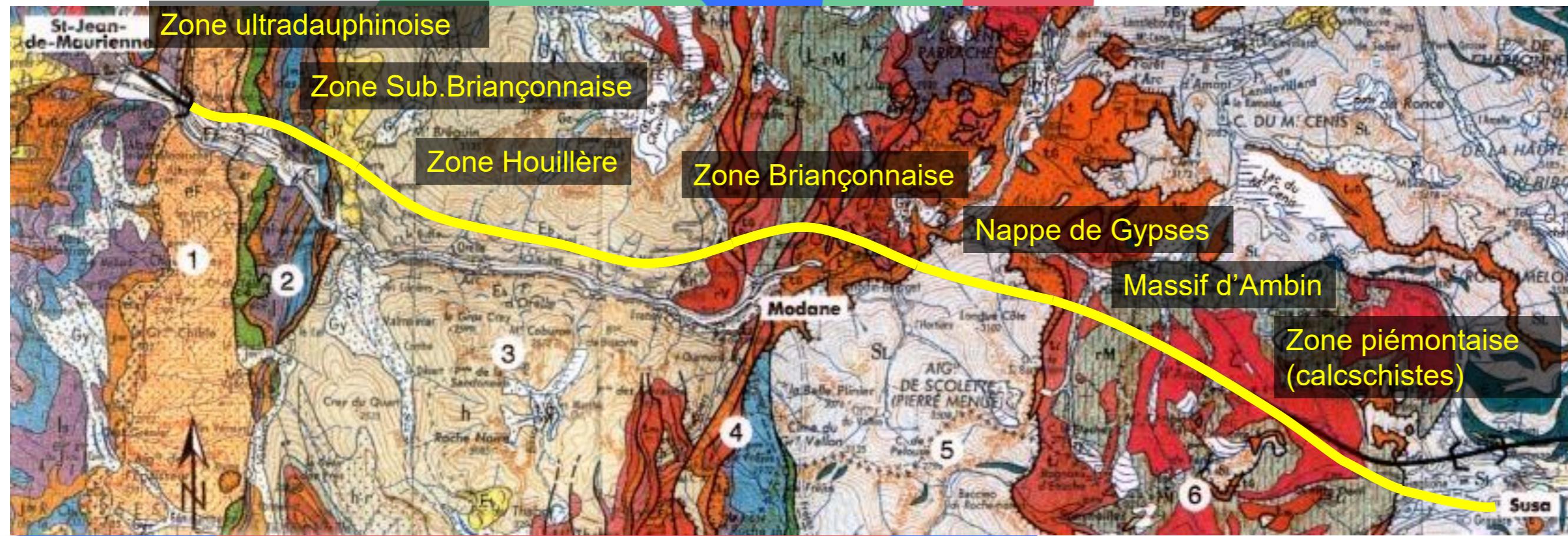
La galerie de reconnaissance de la Maddalena



TUNNEL EURALPIN LYON TURIN

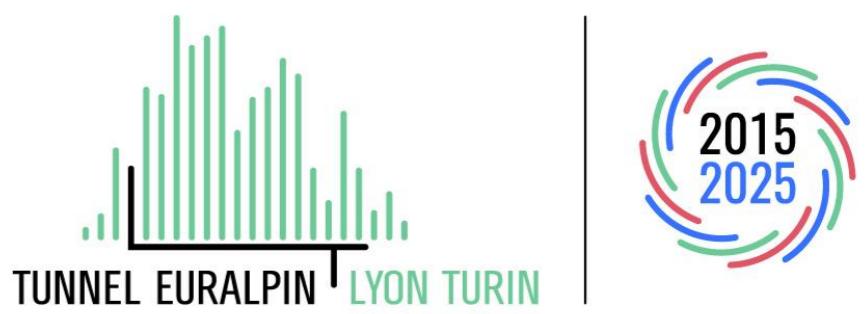


GEOLOGIE DU PROJET ET INCERTITUDES



57,5 km sous les Alpes

Complexité géologique et couverture souvent supérieure à 1000 m et jusqu'à 2200 m environ



Incertitudes géologiques :

- hétérogénéité des roches, complexité structurale, anisotropies
- failles pas nécessairement au droit des grands accidents alpins
- zones difficiles à investiguer
- températures naturelles élevées

Incertitudes hydrogéologiques :

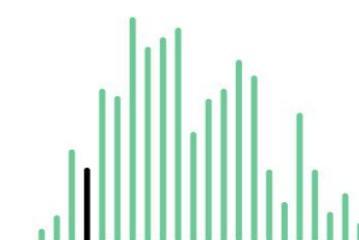
- aquifères principalement au niveau de failles
- circulations d'eau
- risques de karst

Incertitudes géotechniques :

- profondeur du projet, rockburst
- difficultés de reconnaissances
- complexité et hétérogénéité des formations
- zones particulières

Reconnaissances

	TOTAL		
	N	L (km)	ratio/km de tunnel (57,5 km)
Forages	265	60,3	
Forages dirigés	2	4,8	1,1
Séismique	293	212,7	3,7
Puits de reconnaissance	1	0,04	
Galleries de reconnaissance	5	29,4	0,5

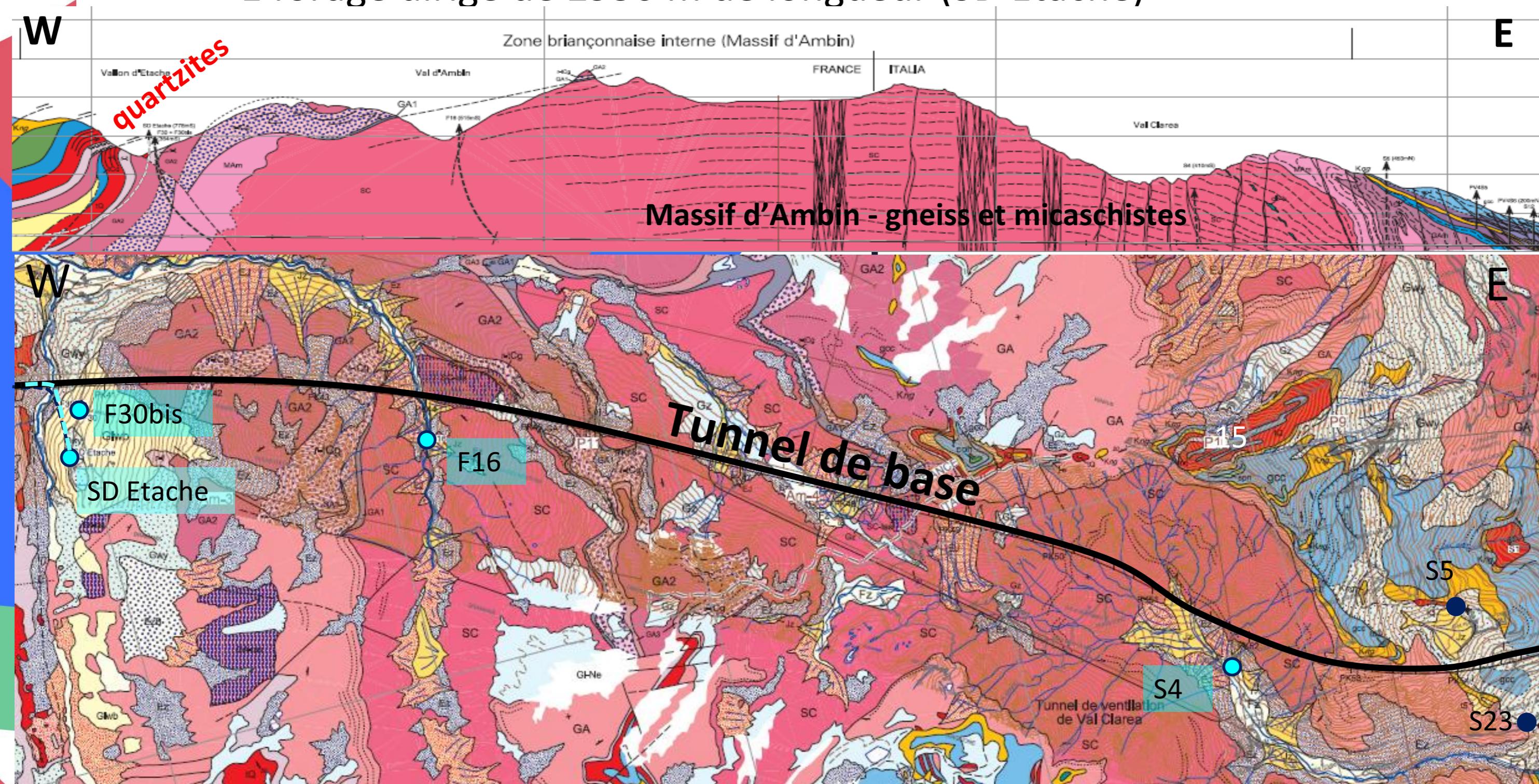


LES RECONNAISSANCES

Altitudes importantes (> 2000 m), conditions climatiques difficiles, peu de routes d'accès, accessibilité limitée à quelques mois estivaux

⇒ Difficultés techniques pour effectuer les forages depuis la surface

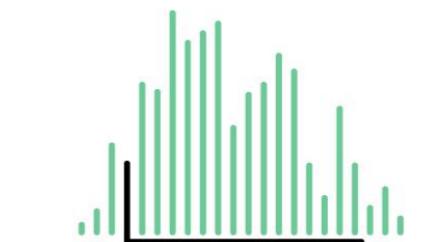
- 3 forages entre 500 et 1600 mètres de longueur (F16, F30bis, S4)
- 1 forage dirigé de 2950 m de longueur (SD Etache)



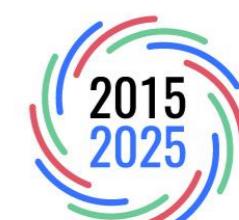
2015
2025

LE CHANTIER DE LA MADDALENA A CHIOMONTE

La galerie de reconnaissance de la Maddalena, réalisé avec un TBM à grippers entre 2013 et 2017, fait partie des travaux préliminaires du Tunnel de base du Mont-Cenis



TUNNEL EURALPIN LYON TURIN

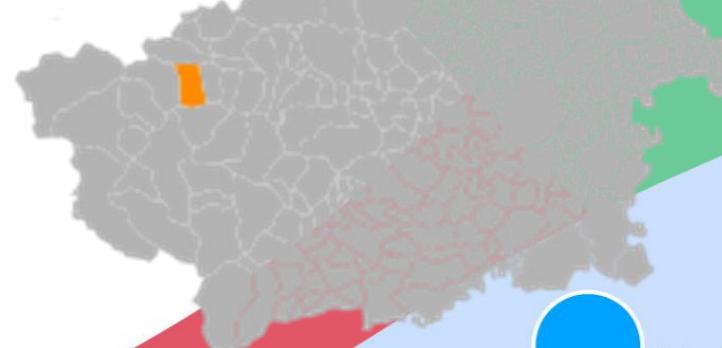


Rispoli, A., Ferrero, A.M., Cardu, M., Brino, L., Farinetti, A. (2016). Hard rock TBM performance: preliminary study based on an exploratory tunnel in the Alps. *EUROCK, ISRM International Symposium, Cappadocia, Turkey*, pp.469-474, Taylor & Francis Group

LA GALERIE DE RECONNAISSANCE DE LA MADDALENA



CHIOMONTE
Piemonte



2013
Inizio degli scavi

2012
Inizio dei lavori di costruzione

2011
Impianto cantiere

Gen-Lug 2013
Fase 1 scavo in tradizionale

2013-2017
Fase 2 scavo con TBM



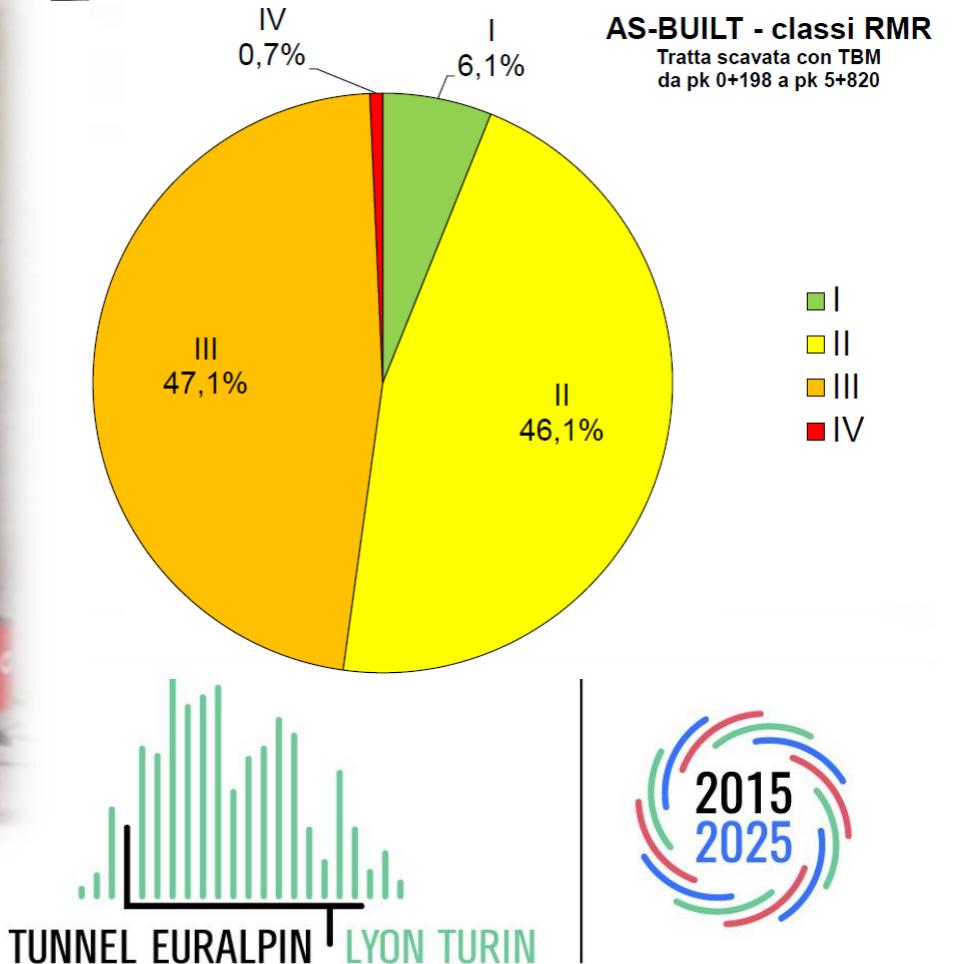
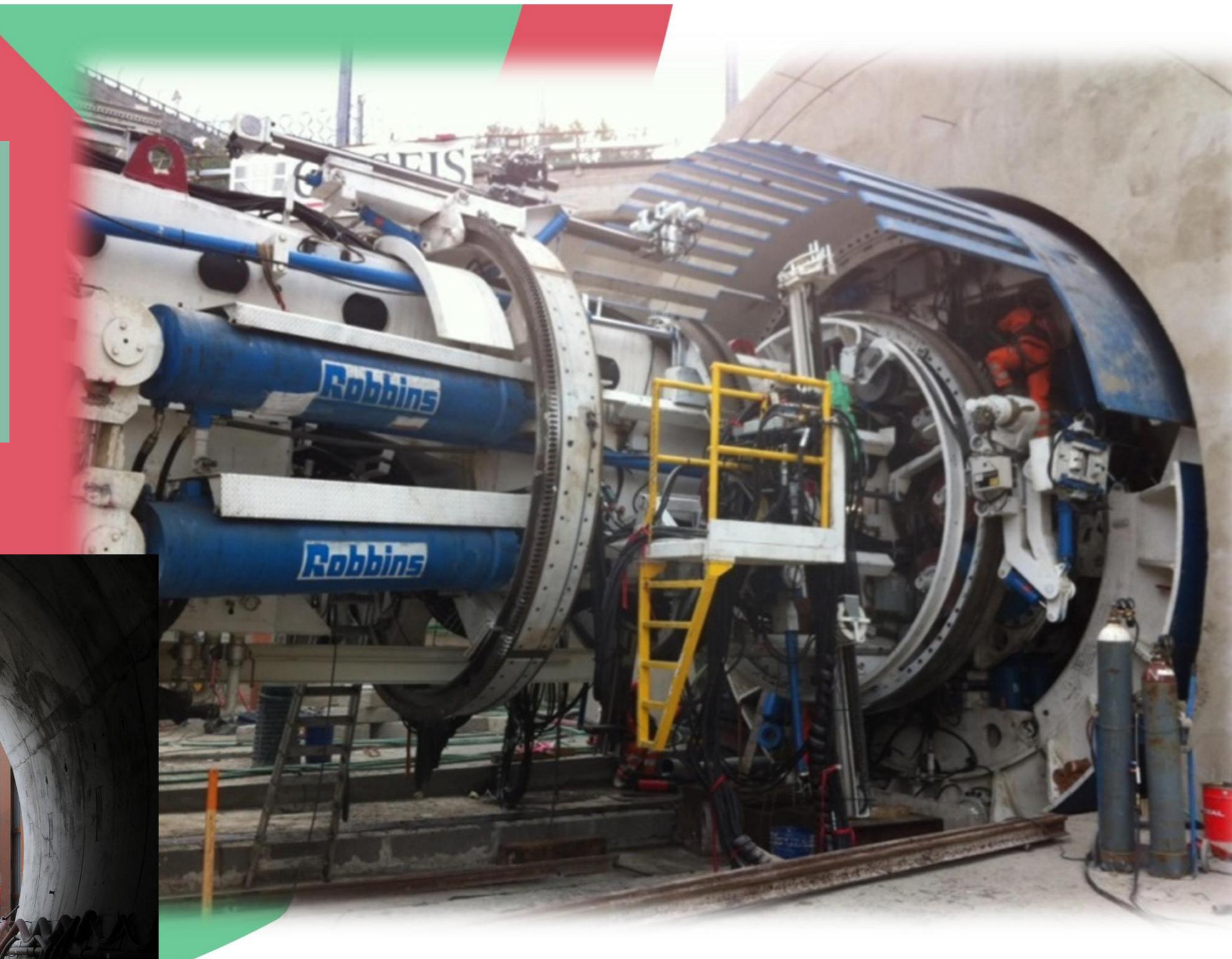
- Reconnaissance du Massif d'Ambin
- Test creusement mécanisé échelle 1:2
- Creusement au droit des couvertures maximales attendues (jusqu'à 2200 m)

2015
2025

TUNNEL BORING MACHINE ROBBINS «GEA»

N'ayant pas de bouclier, le tunnelier a permis l'observation directe de l'amas rocheux sur le front et sur les piédroits sur toute la longueur du tracé, un avantage important compte tenu de l'objectif principal du tunnel, à savoir la reconnaissance géologique et géomécanique

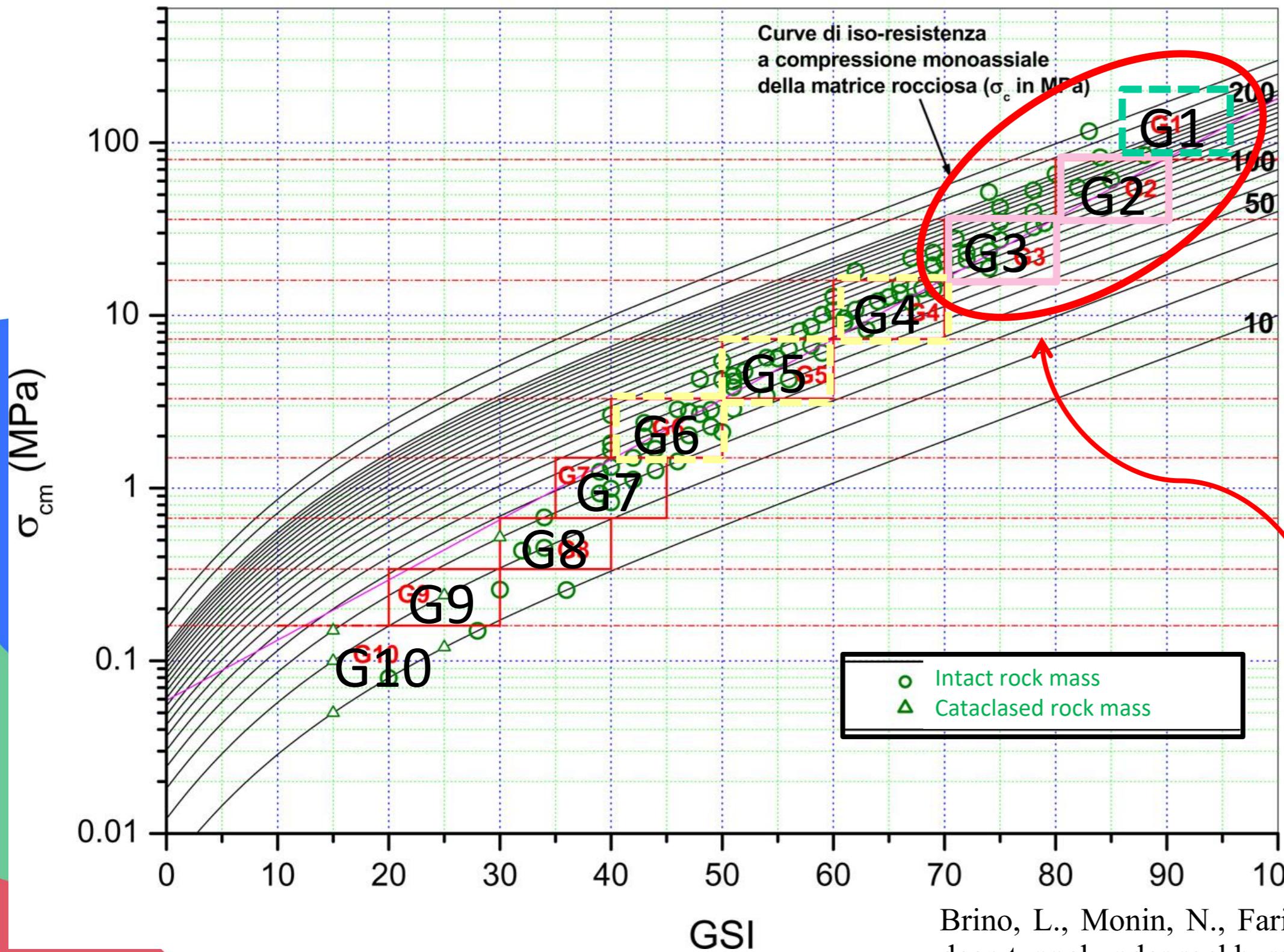
Main Beam TBM
Diamètre 6,30 m
43 cutters 17"
Puissance 2,2 MW



PREVISION DU PHENOMENE DE ROCKBURST

Le phénomène de *rockburst* se produit dans des roches à haute résistance soumises à des conditions de contrainte élevées

La classification géomécanique a été basée sur le ratio GSI/σ_{cm} . Le Massif d'Ambin était caractérisé par les groupes G1 (conditions favorables) et G2-G3 (conditions prévalentes)



Dominant lithologie	Intact Rock Mass Parameters		
	m_i	$\sigma_{cmin}-\sigma_{cmax}$ (MPa)	σ_c (MPa)
Gneiss (Gam)	9-12	35-386	80-150
	12-15		150-220
	15-18		220-300
Micascisti (Mam, GA2)	6-8	27-136	40-60
	8-10		60-85
	10-12		85-110
micascisti (SC)	6-8	37-194	60-90
	8-10		90-135
	10-12		135-180

State and condition :

- Unfavorable (Yellow)
- Prevalent (Purple)
- Favorable (Green)

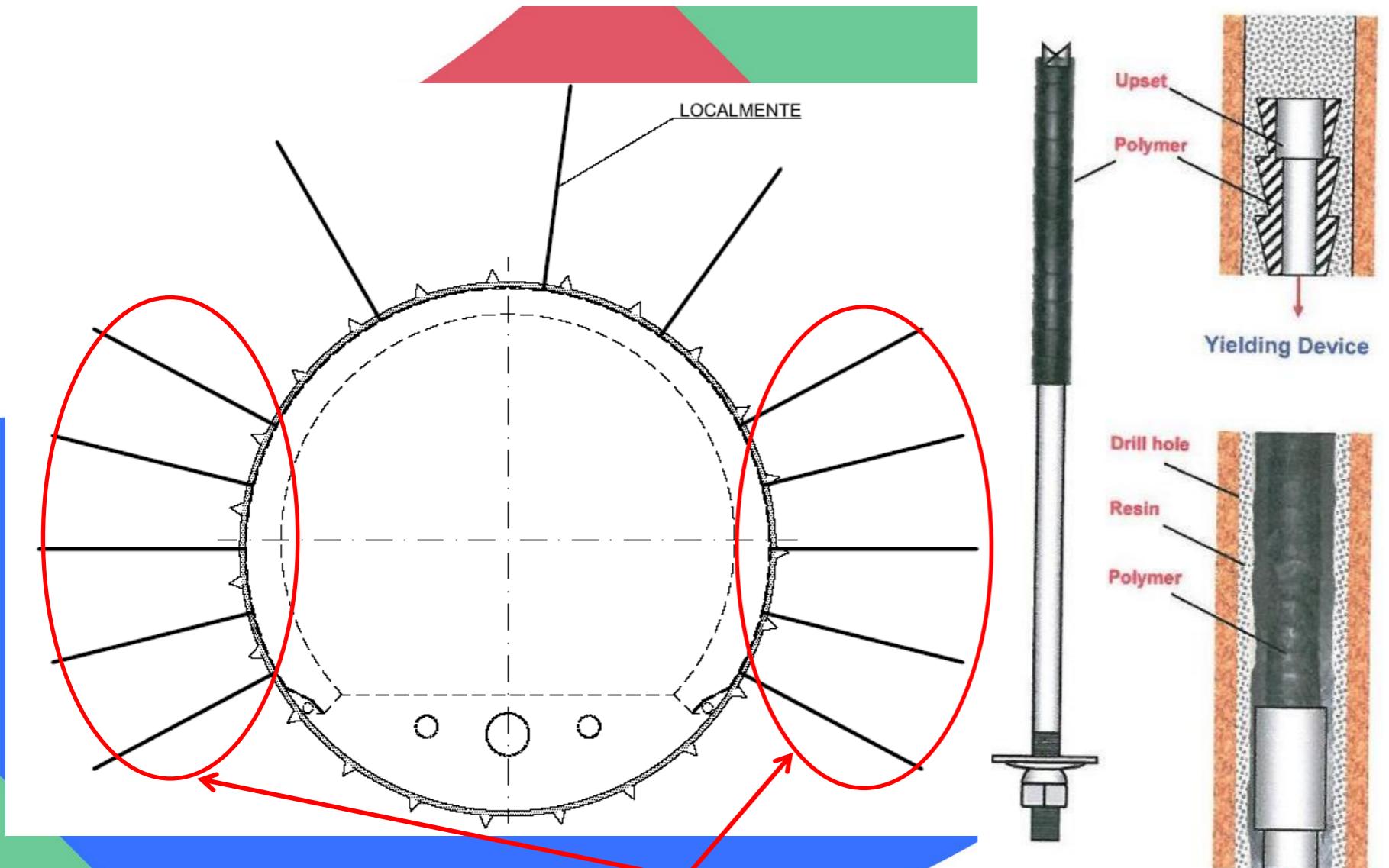
Les phénomènes de rockburst étaient attendus pour les groupes G1 à G3 à cause de la couverture importante



PREVISION DU PHENOMENE DE ROCKBURST

Le risque de rockburst pour le Tunnel de base s'élevait à 10 % sur les 20 km du Massif d'Ambin

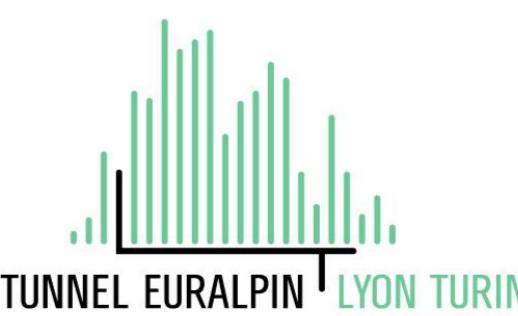
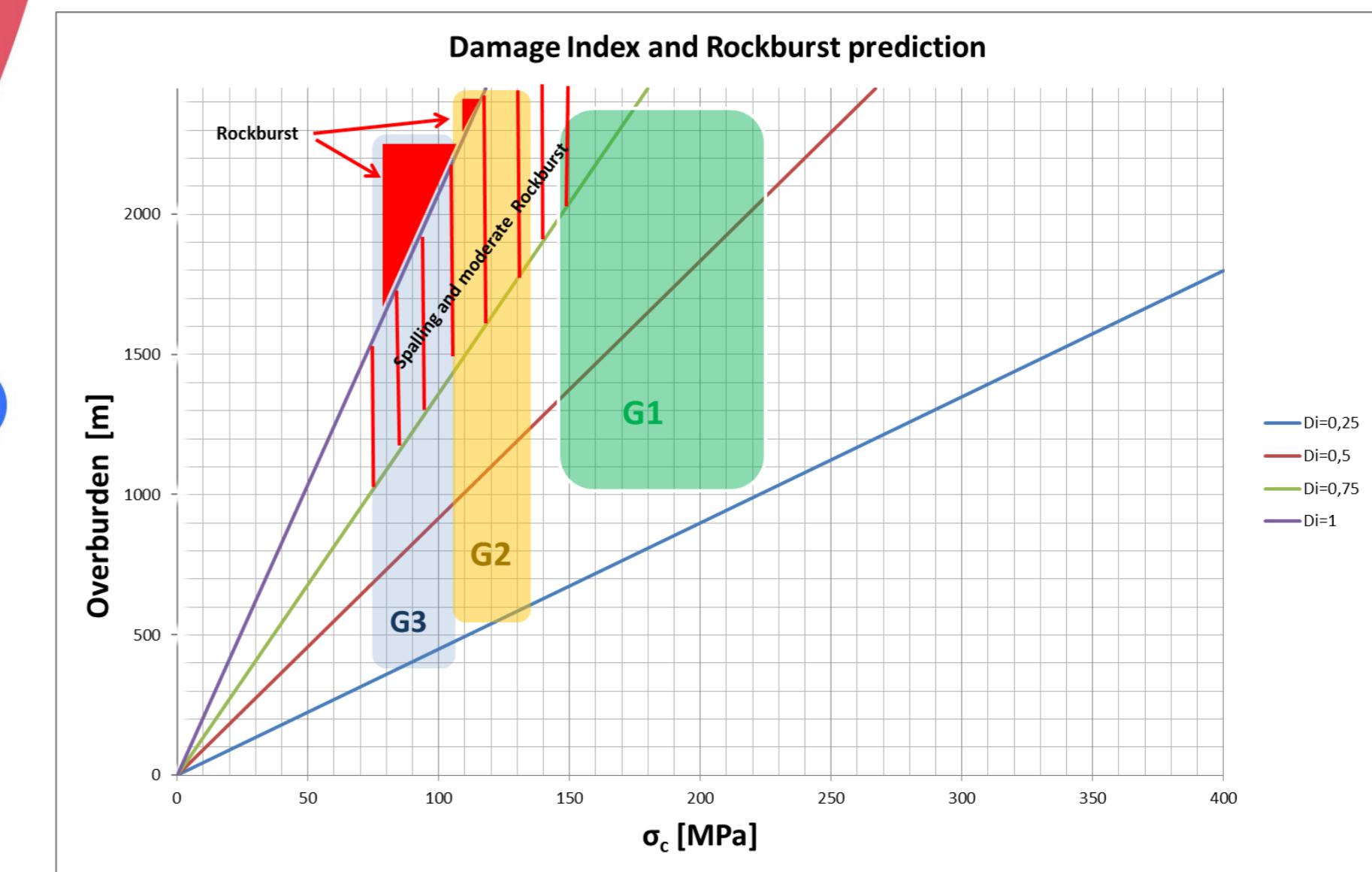
La galerie de reconnaissance devait traverser plus de 3 km entre les deux tubes du Tunnel de base et permettre de recueillir de nouvelles données sous une couverture entre 1000 et 2000 m



Soutènement en cas de *rockburst* (10 boulons/m à haute déformabilité type Yielding de 3 m de longueur)

Résistance à la rupture : 178 kN

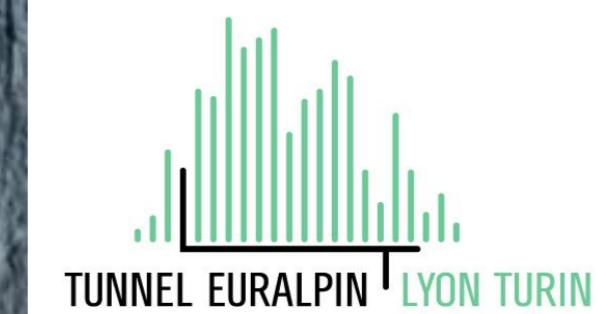
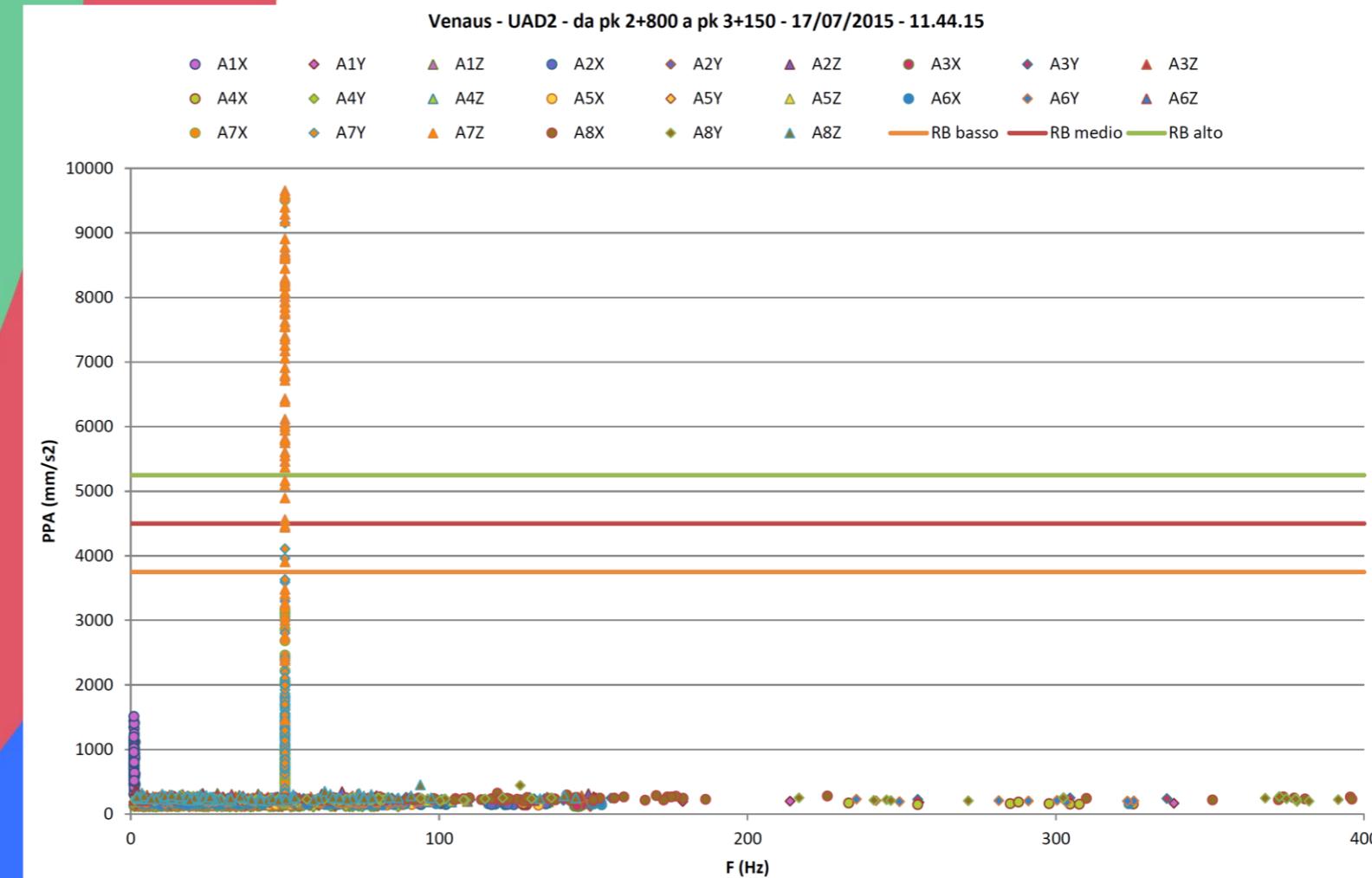
Allongement de l'acier : 8 %



AUSCULTATION MICRO-SISMIQUE

Le suivi du phénomène en cours de travaux a été effectué avec des auscultations micro-sismiques par installation d'accéléromètres triaxiaux tous les 50 m lorsque la couverture dépassait 900 m :

- La mesure du « *rocknoise* »
- L'identification de risques potentiels de rockburst
- L'auscultation de tous les évènements de rockburst



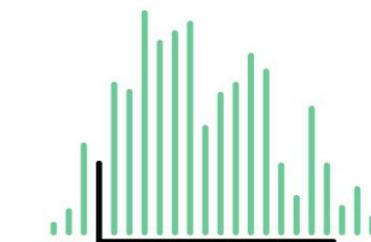
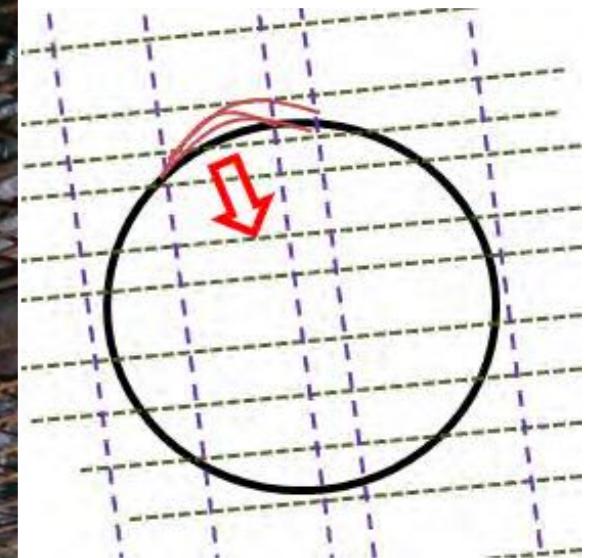
RETOUR D'EXPERIENCE

Un seul phénomène de fracture fragile s'est produit le 23 décembre 2015, aux alentours du pK 4+200, affectant les 10 à 12 derniers mètres creusés environ

L'amas rocheux avait été classé avec des valeurs de RMR de 61 à 72 (donc en classe II de Bieniawski) et de GSI de 62 à 75

La schistosité était subhorizontale, affectée par des discontinuités inclinées, souvent remplies de carbonates, et la couverture était d'environ 1000 m

Les ouvriers ont soudainement entendu un bruit sourd, suivi d'une forte déformation immédiate du soutènement appliqué (déplacements radiaux de plusieurs centimètres entre les boulons)



TUNNEL EURALPIN LYON TURIN



RETOUR D'EXPERIENCE

La fragmentation de la roche et les caractéristiques de l'événement ont mis en évidence un mécanisme pouvant être classé comme un « *bulking without ejection* » : l'énergie accumulée a été consommée lors du processus de fracturation, entraînant une augmentation significative du volume par dilatance

Par conséquent, des conditions de libération significative d'énergie cinétique, associée à des projections de blocs rocheux à vitesse élevée, ne se sont pas déterminées

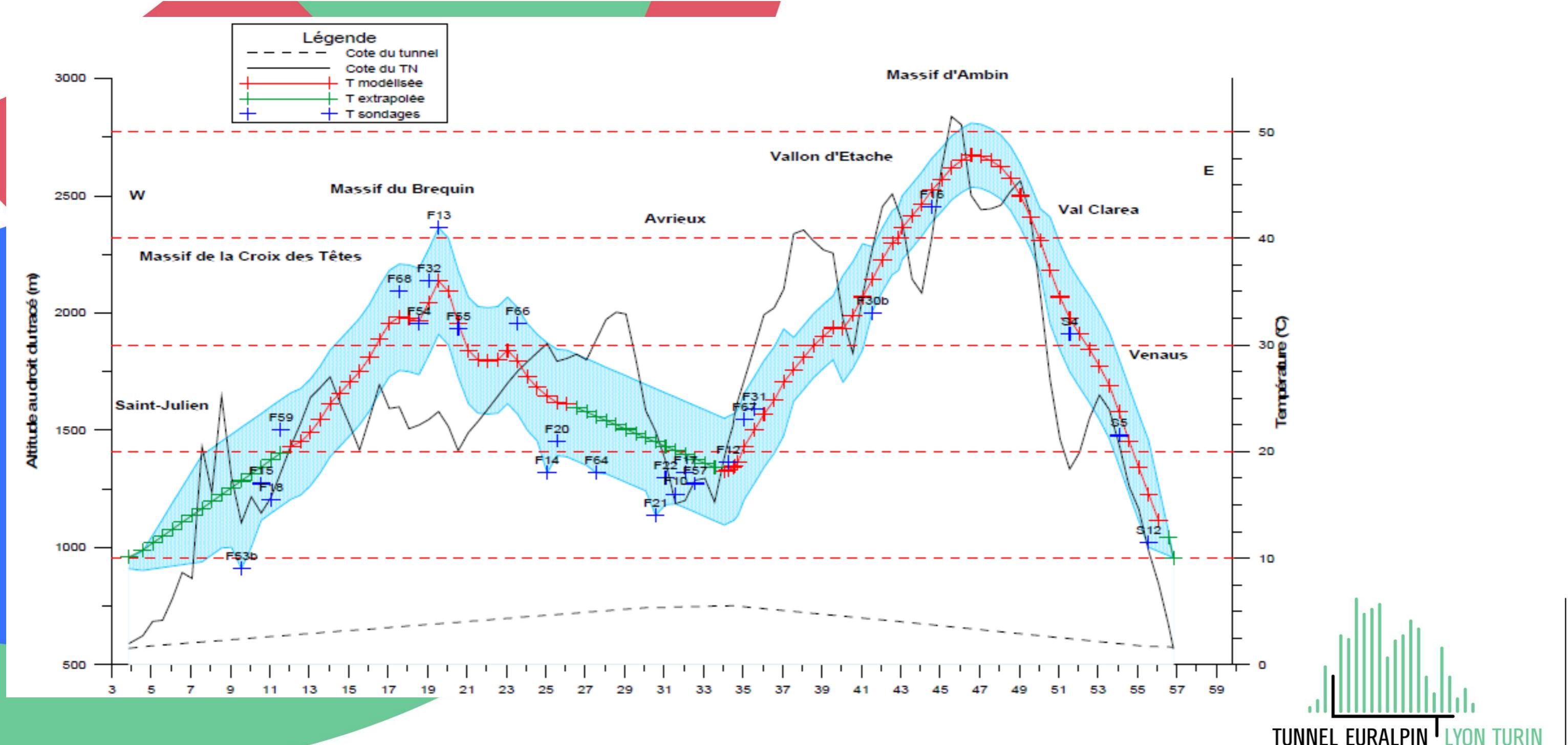
Au-delà du pK 4+200, les phénomènes de rupture fragile se sont avérés encore moins intenses



MODELE GEOTHERMIQUE

L'expérience des tunnels creusés à grande profondeur en terrains cristallins ou métamorphiques peu perméables, montre que la température est proportionnelle à la couverture, avec un gradient géothermique de 20 à 30°C/km: c'est le cas du Saint-Gottard, du Loetschberg et du Simplon Nord

Pour le Tunnel de base du Mont-Cenis, la température maximale attendue était de $47^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}$

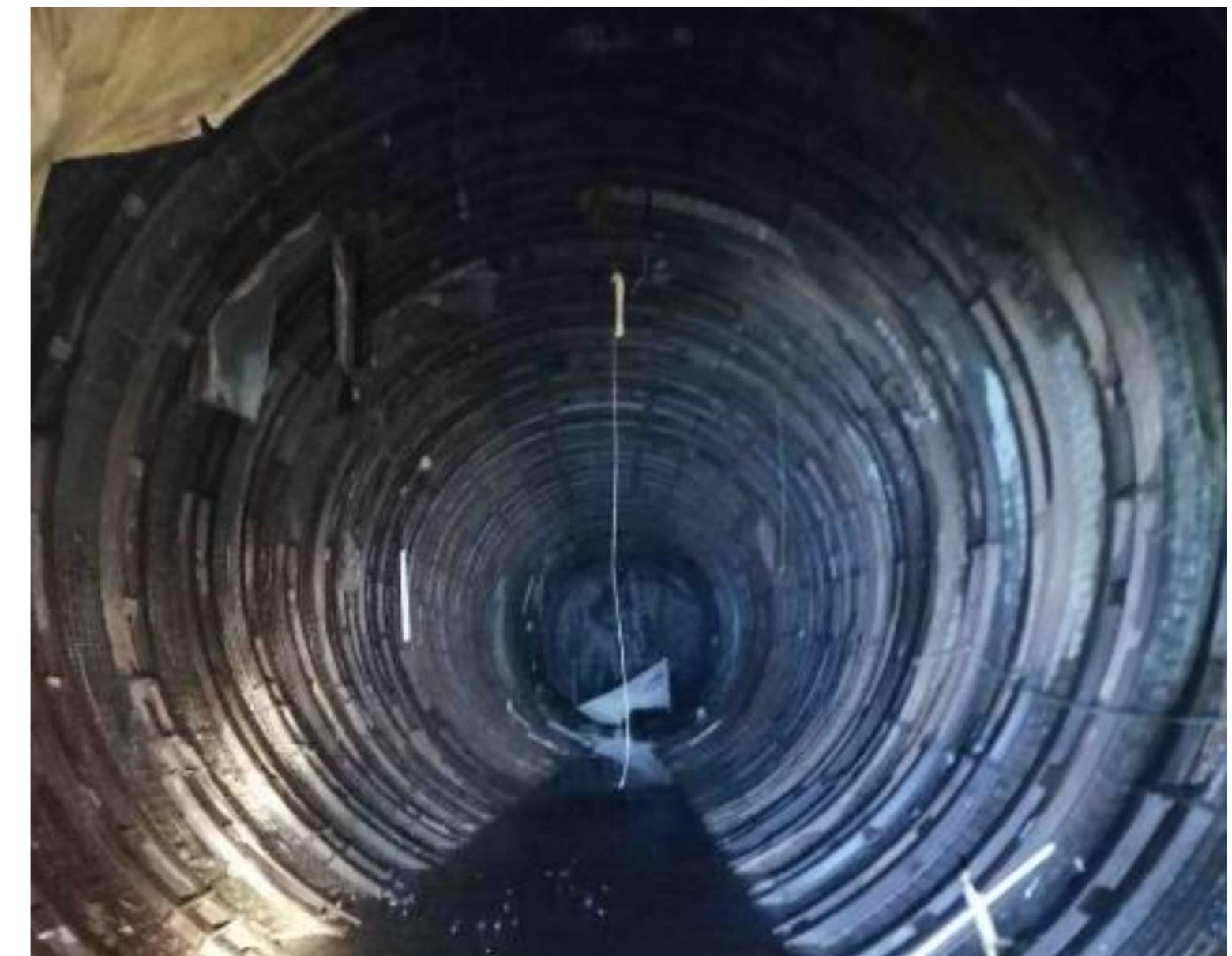
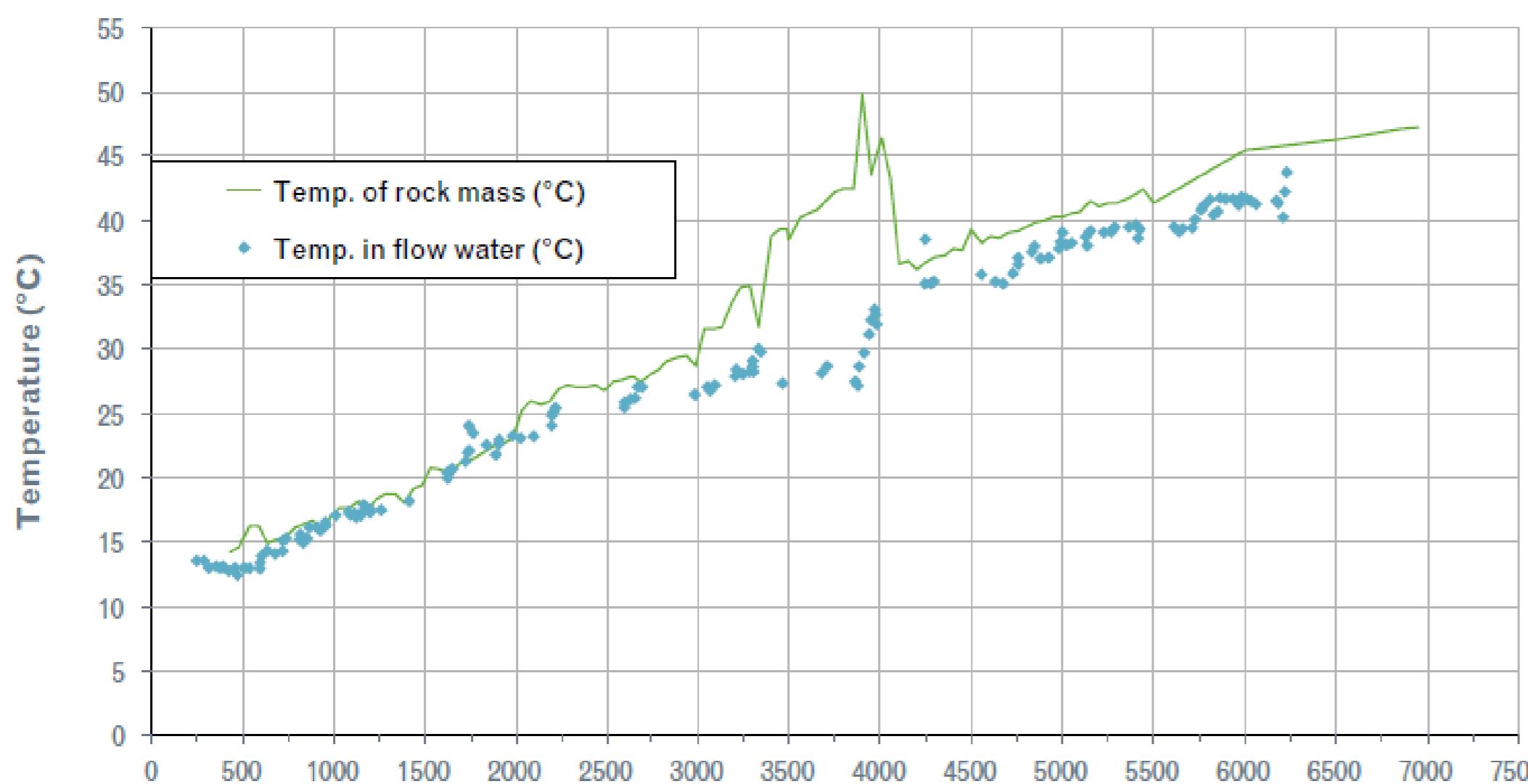


TUNNEL EURALPIN LYON TURIN

Brino, L., Monin, N., Poti, P., Piraud, J., Buscarlet E. (2008). Modélisation géothermique et système de refroidissement pour le tunnel de base de la nouvelle liaison ferroviaire Lyon-Turin. *Congrès International AFTES, Monaco*, pp. 31-37

RETOUR D'EXPERIENCE

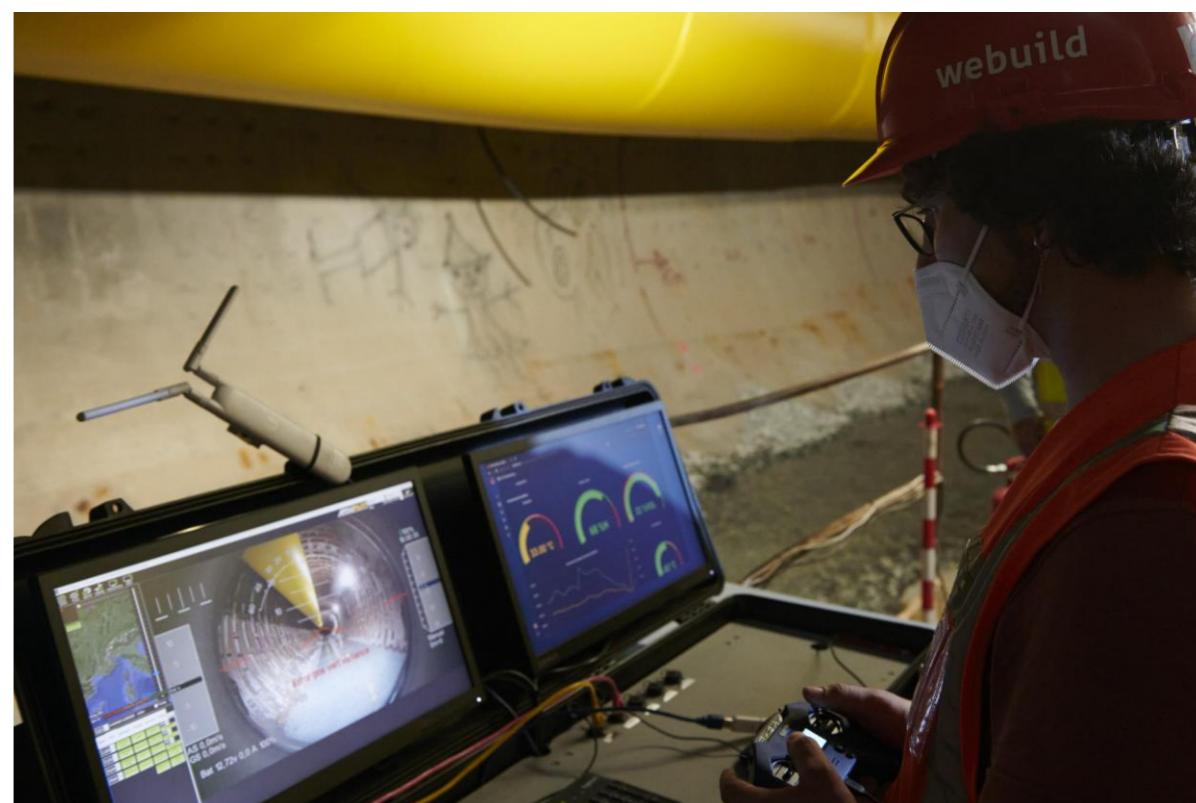
En cours de creusement de la galerie de reconnaissance de la Maddalena, la température maximale atteinte a été de 50°C, et 47° C au niveau de l'extrémité ouest de la galerie



RETOUR D'EXPERIENCE

Après la fin du creusement – 19/02/2017 – la partie initiale de la galerie a fait l'objet de travaux de création de niches en prévision de la phase des travaux principaux, tandis que la partie terminale est restée inutilisée pendant une période de 5 ans pour des raisons techniques et logistiques

Une exploration a été faite en 2022 en conditions de sécurité avec AXEL, un véhicule télécommandé et autonome, pour vérifier les conditions environnementales et les niveaux de température des derniers 3 km du tunnel foré et non ventilé



TUNNEL EURALPIN LYON TURIN

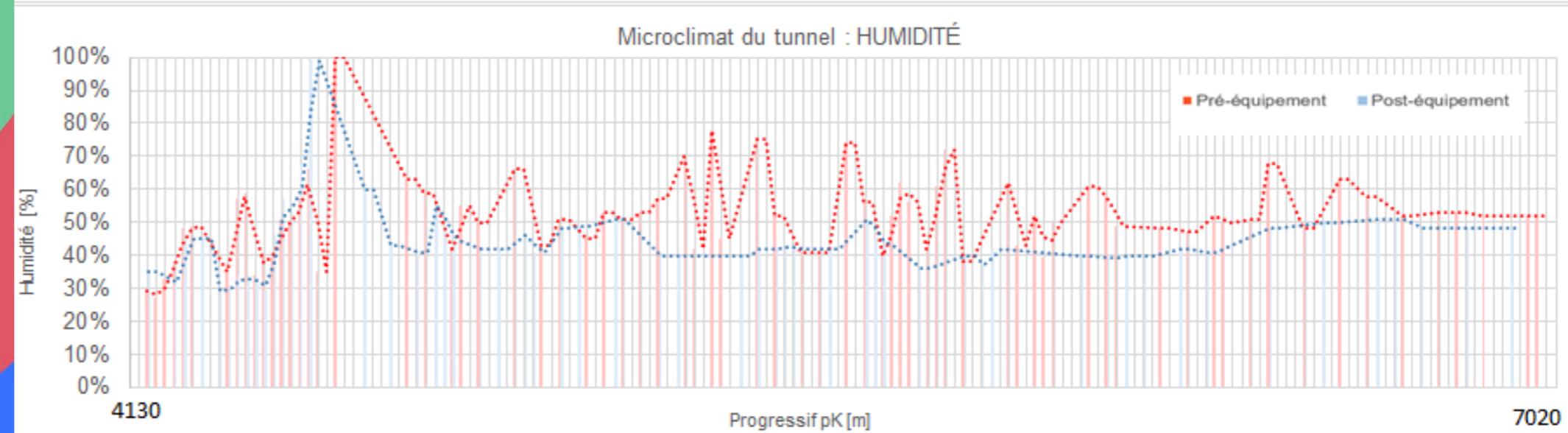
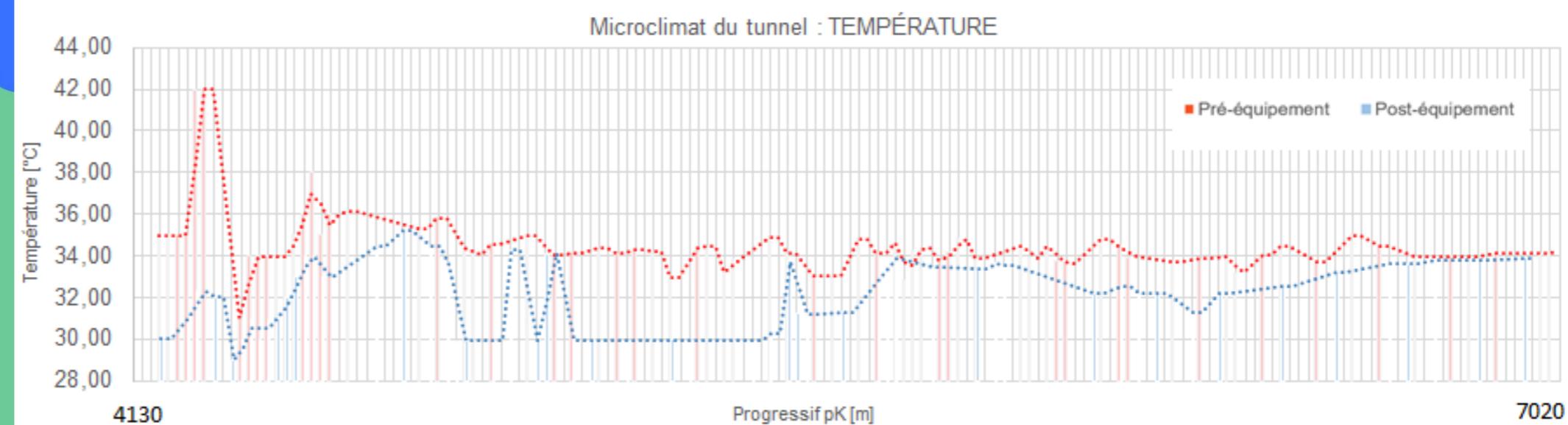
Elia, P., Ferrando, A., Speranza, S., Mosconi, S., Della Ratta, P., Negri, M. (2023). Axel, l'explorateur de la galerie de reconnaissance de la Maddalena. *Congrès AFTES, Paris*

RETOUR D'EXPERIENCE

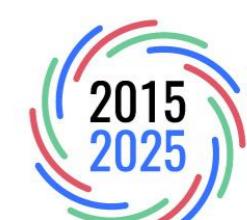
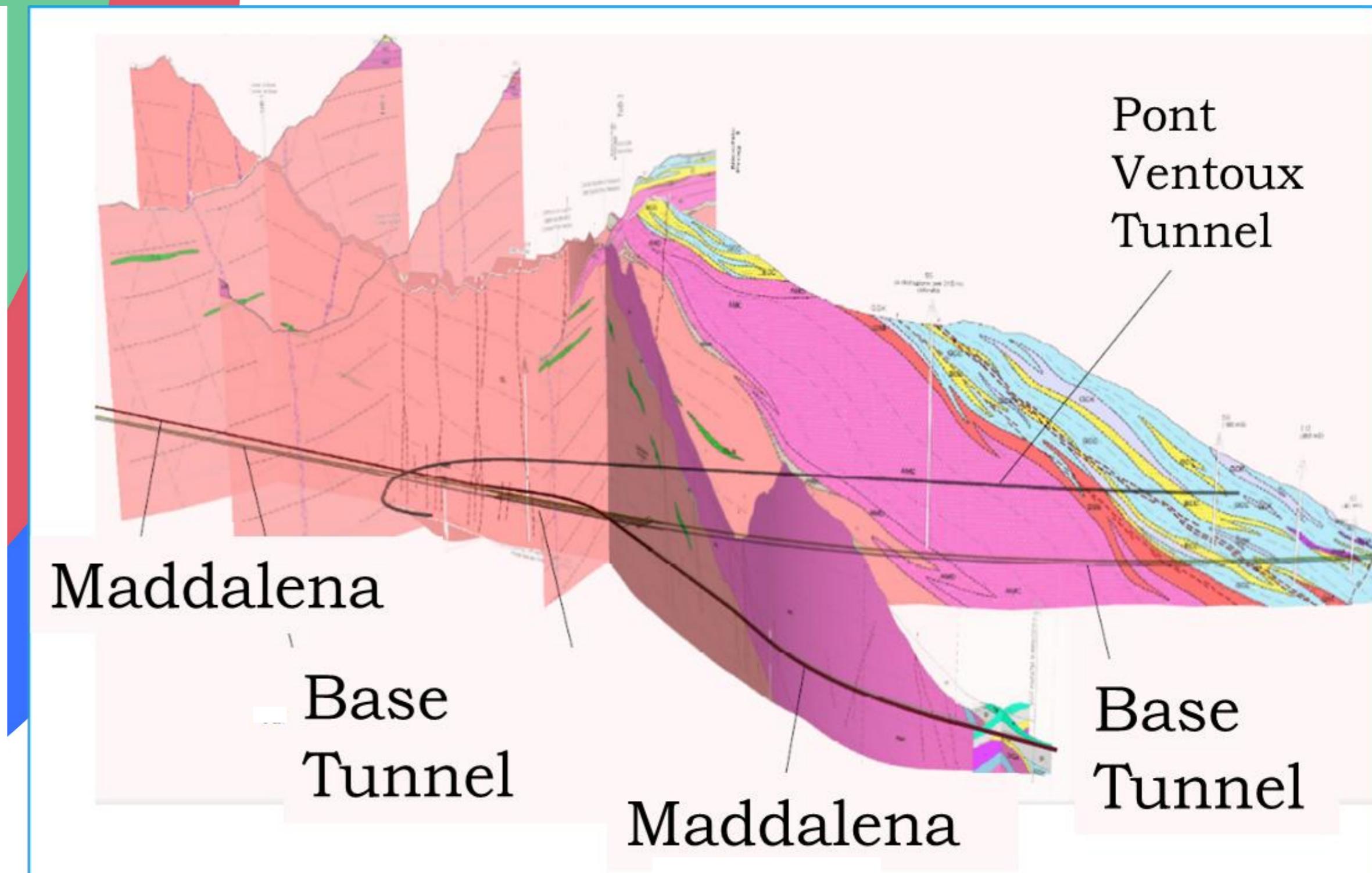
Les valeurs de température mesurées le long de la galerie ont révélé une moyenne de 35°C

Suite à l'installation d'une nouvelle gaine de ventilation les valeurs mesurées ont baissé jusqu'à 30°/32°C

Ce retour d'expérience montre une décroissance progressive de la température de la roche observée lors du creusement, même en absence de ventilation ; pour mémoire, dans le Simplon, la température maximale mesurée est passée en un siècle de 55° à 35°C



- Le niveau de connaissance du Massif d'Ambin a considérablement augmenté
- Malgré une couverture exceptionnelle de près de 2200 m, le phénomène du ***rockburst*** est resté modéré, avec des fractures, mais **sans libération évidente d'énergie cinétique**
- Confirmation de la **méthode d'excavation par TBM à grippers**
- Confirmation de la **géothermie naturelle à 50°C**





Les principaux chantiers en cours



Merci pour votre
attention !

www.telt.eu

#LyonTurin

