

AFTES  
CFGI  
CFMR  
CFMS

# Ouvrages Remarquables

## et évolution des pratiques

Les 4

4 décembre 2025  
13h30-18h00, amphi Setec, 75012 Paris




# 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




Jean Mandel Lecture

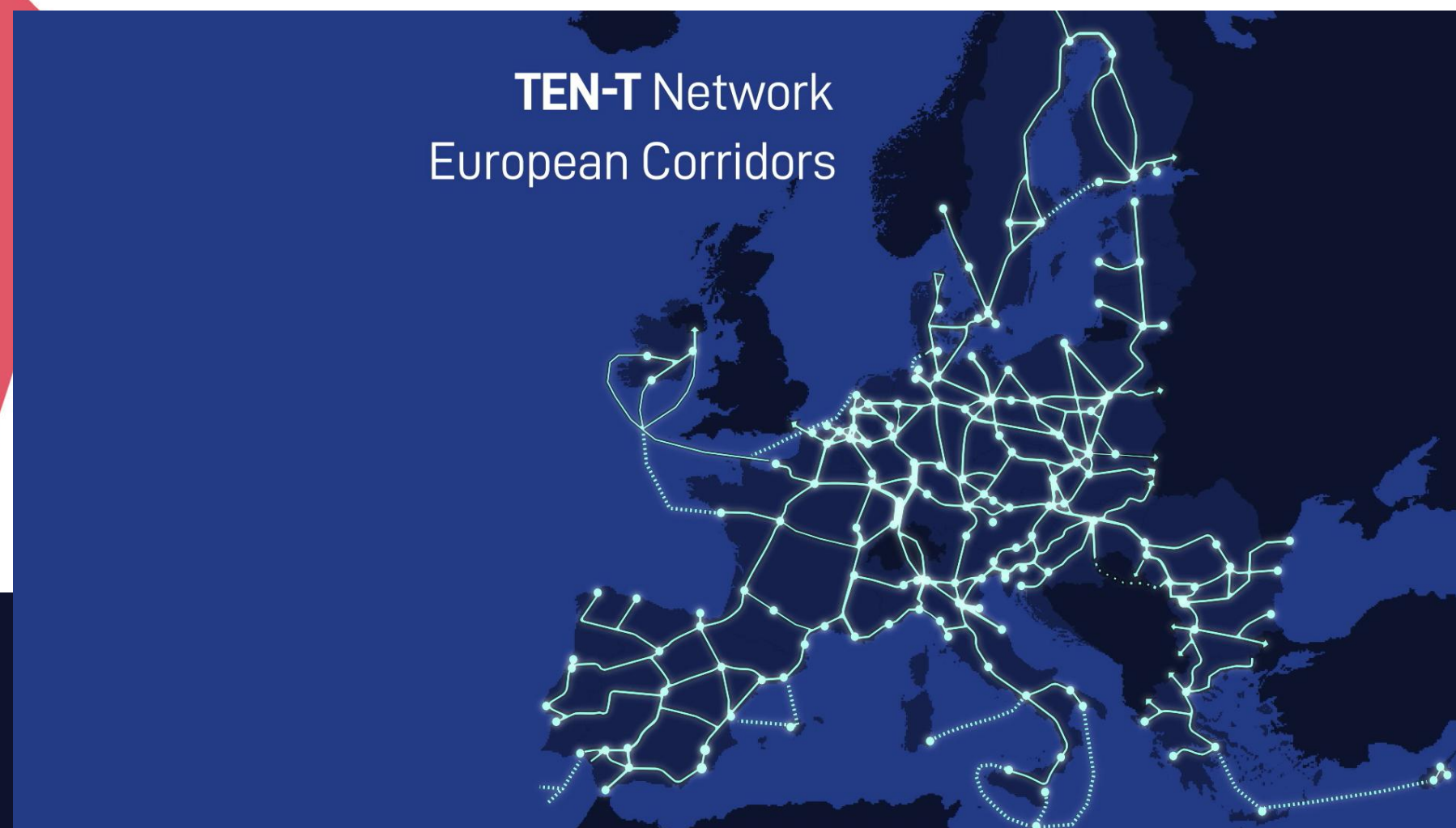
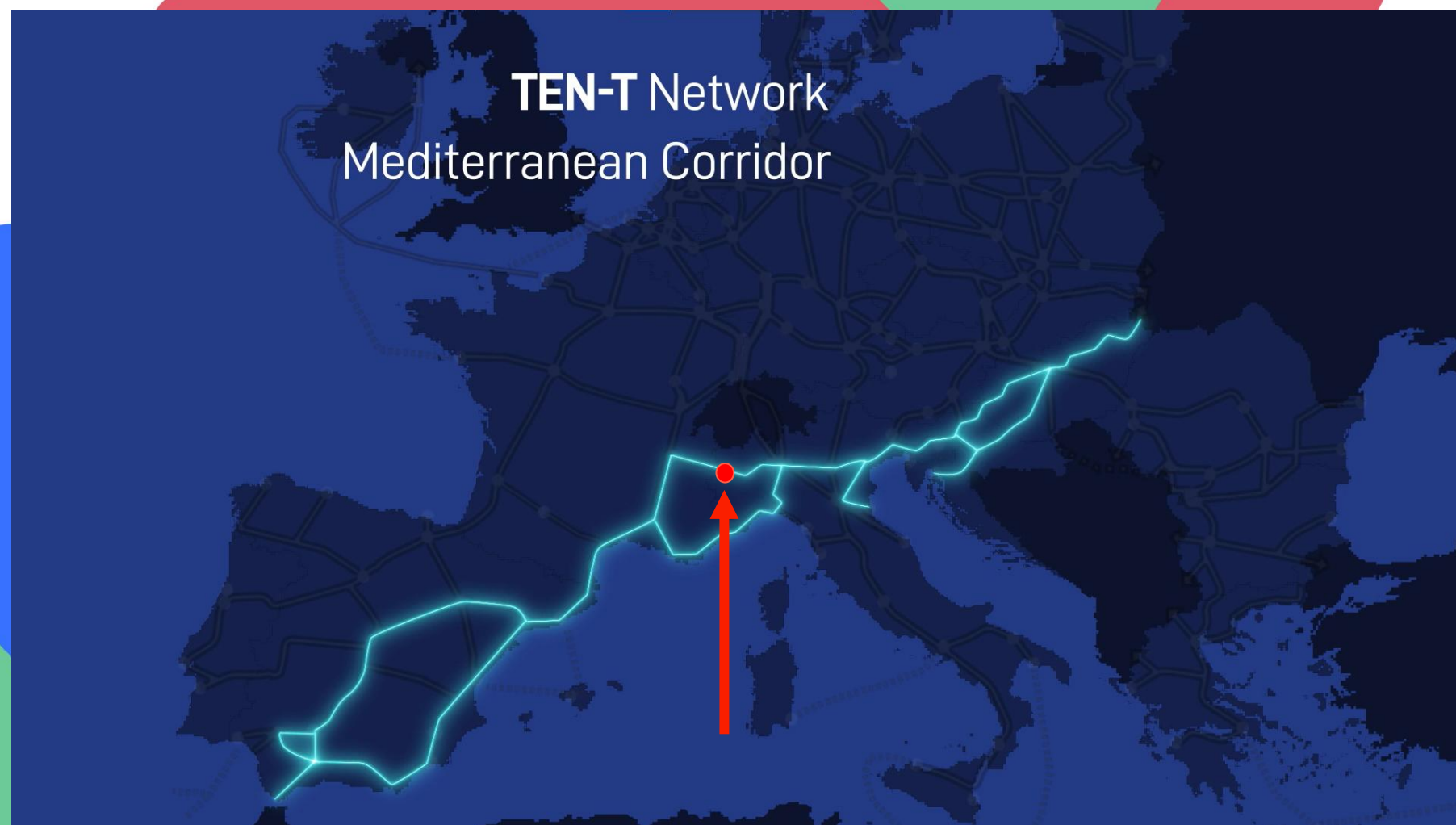
TUNNEL EURALPIN LYON TURIN

2015  
2025

Paris 4/12/2025



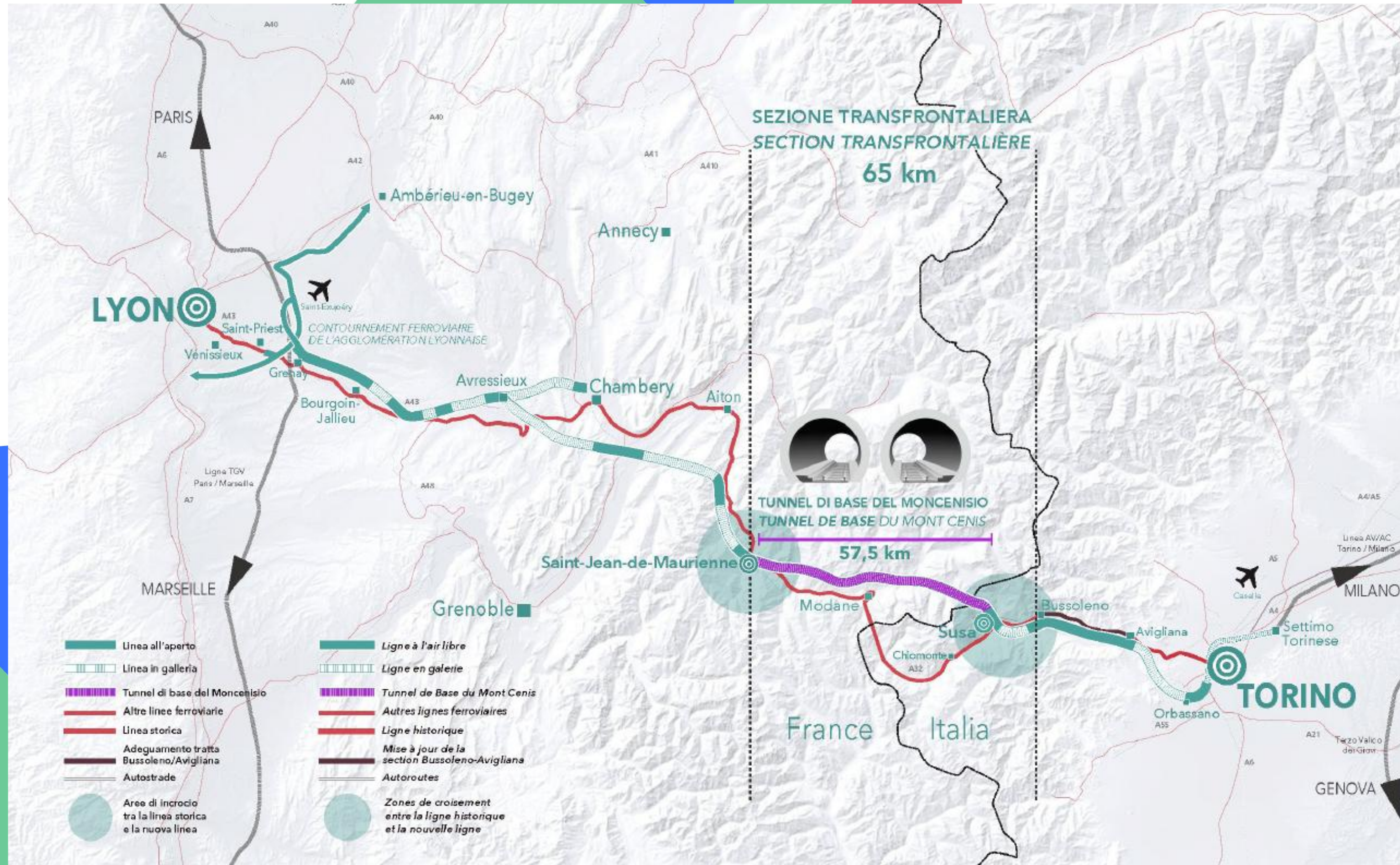
Le Lyon-Turin est le maillon central du corridor méditerranéen (l'un des 9 axes du réseau européen de transport RTE-T), qui couvre 3 000 km et relie 7 corridors de l'UE d'est en ouest



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

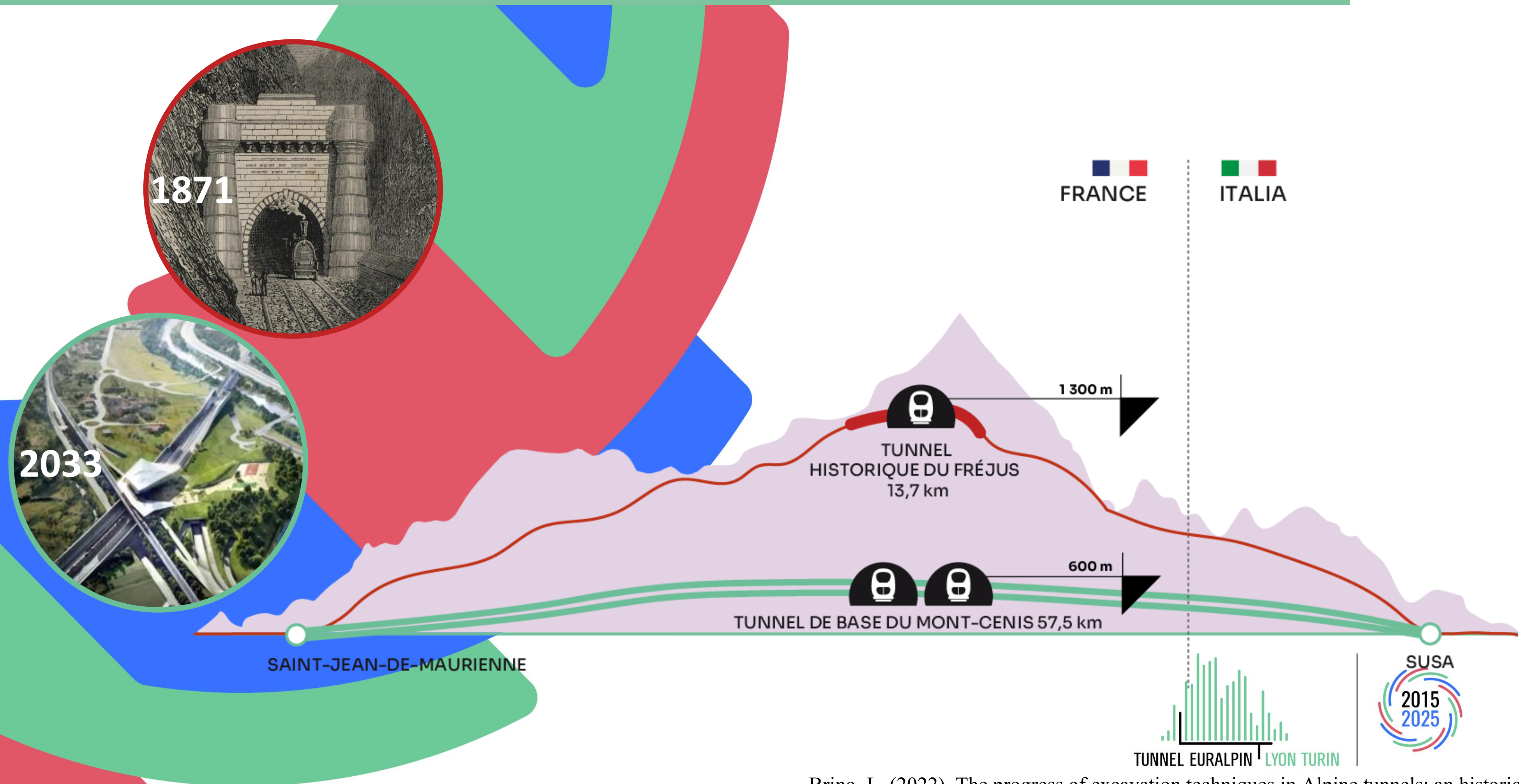


# LE TRACE DE LA NOUVELLE LIAISON FERROVIAIRE LYON-TURIN





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

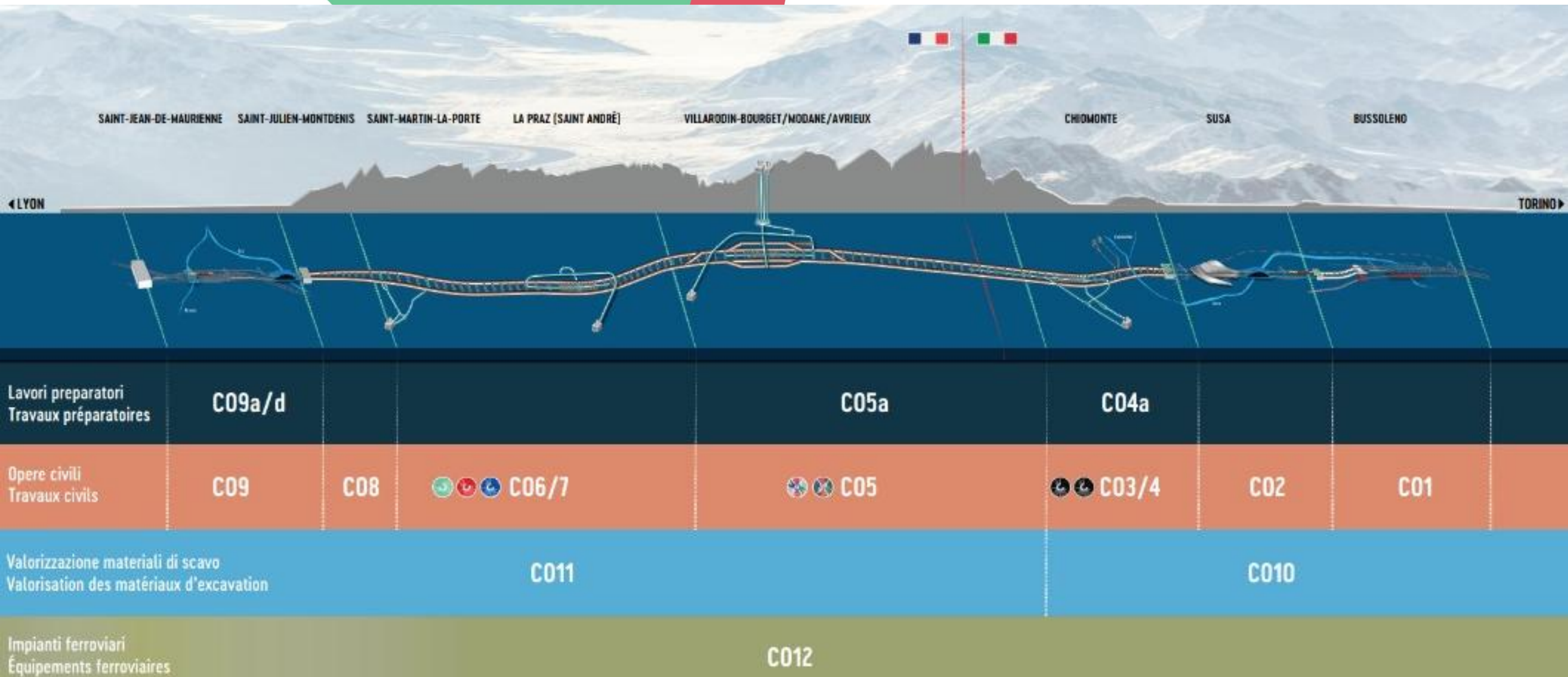


Brino, L. (2022). The progress of excavation techniques in Alpine tunnels: an historical overview. *Gallerie e Grandi Opere Sotterranee*, settembre 2022, n. 143, pp. 39-45



## 12 CHANTIERS OPÉRATIONNELLS 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





**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

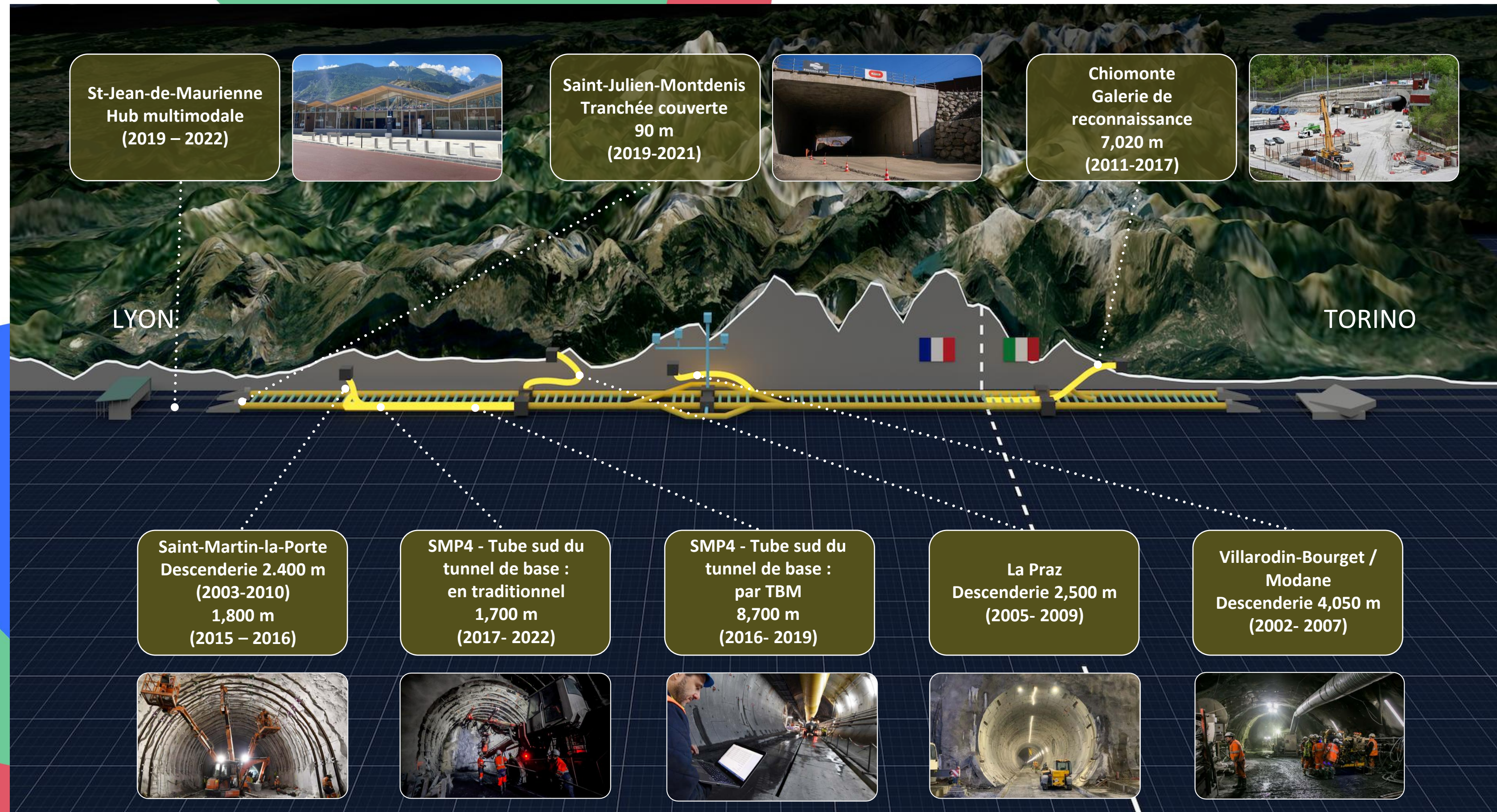
**+ 3 500**

personnes sur les  
chantiers



# TRAVAUX ACHEVÉS

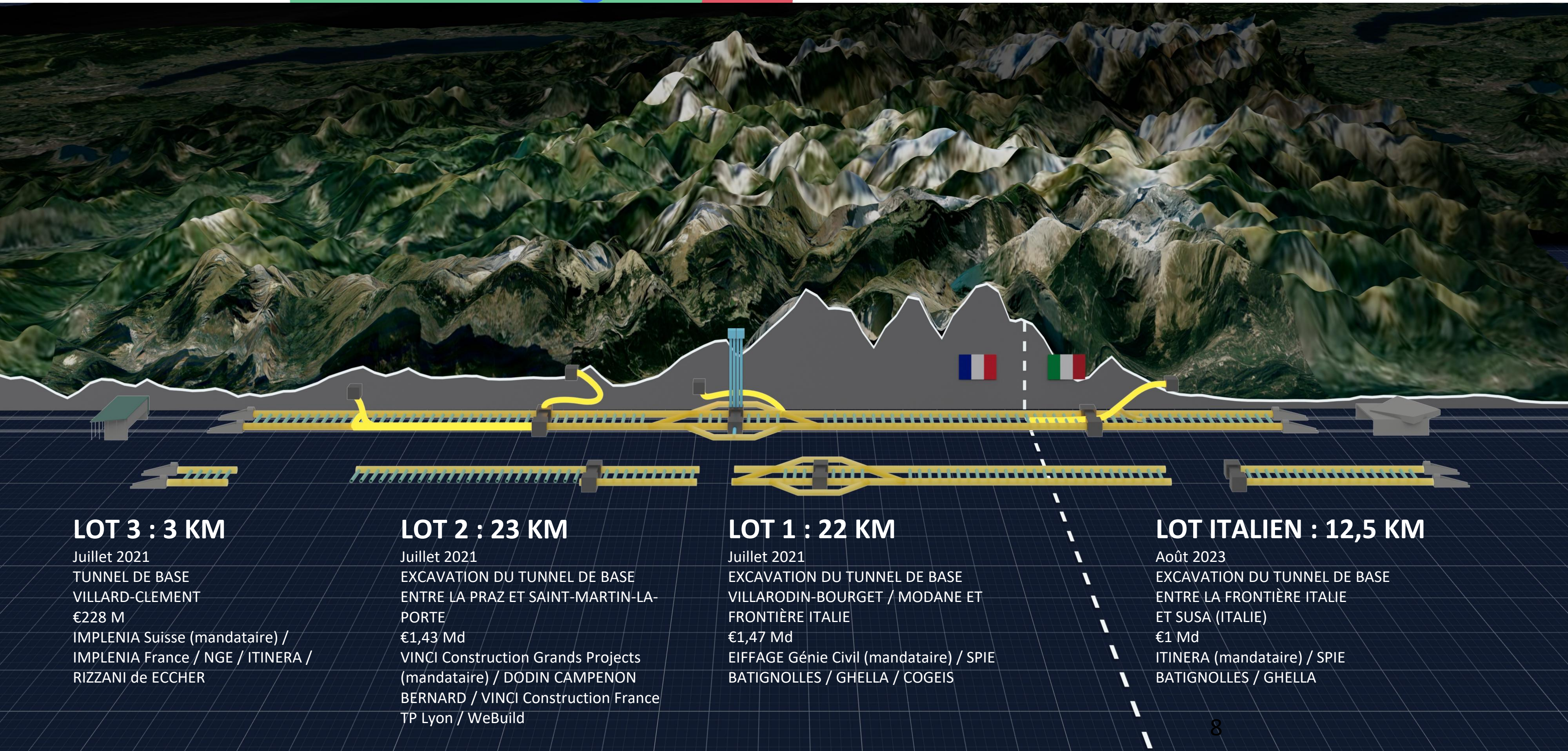
A ce jour, 19 km du tunnel de base du Mont-Cenis ont été creusés





# TUNNEL DE BASE : TRAVAUX ATTRIBUÉS

Les chantiers du tunnel de base montent en puissance

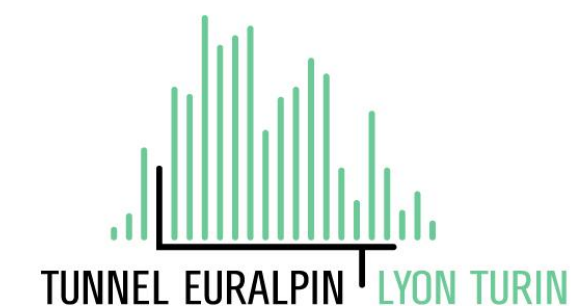
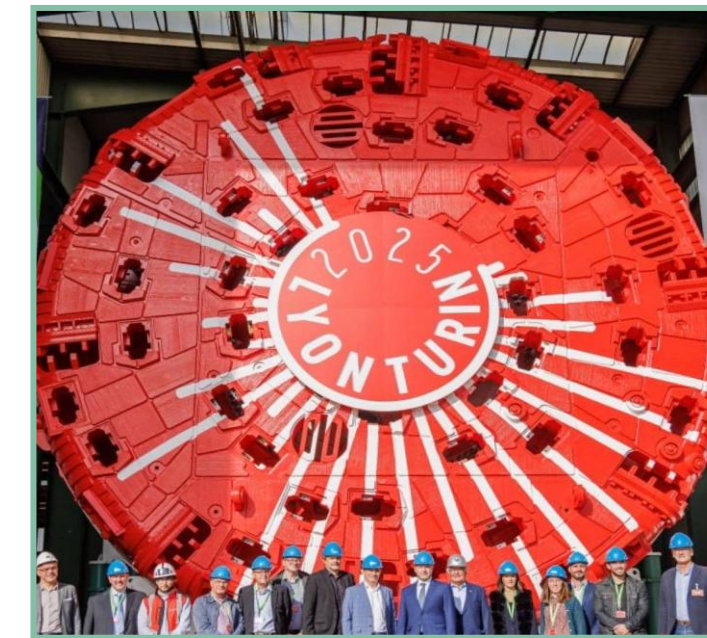




# SEPT TUNNELIERS CREUSERONT VERS L'ITALIE

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

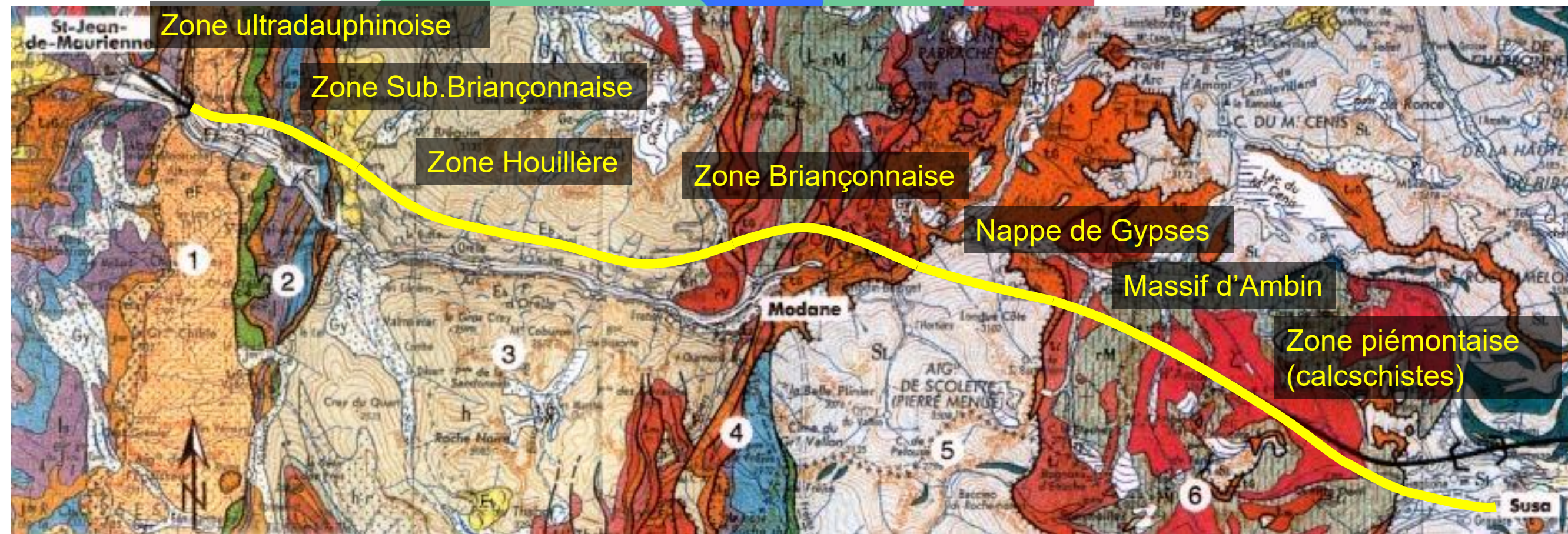




# La galerie de reconnaissance de la Maddalena

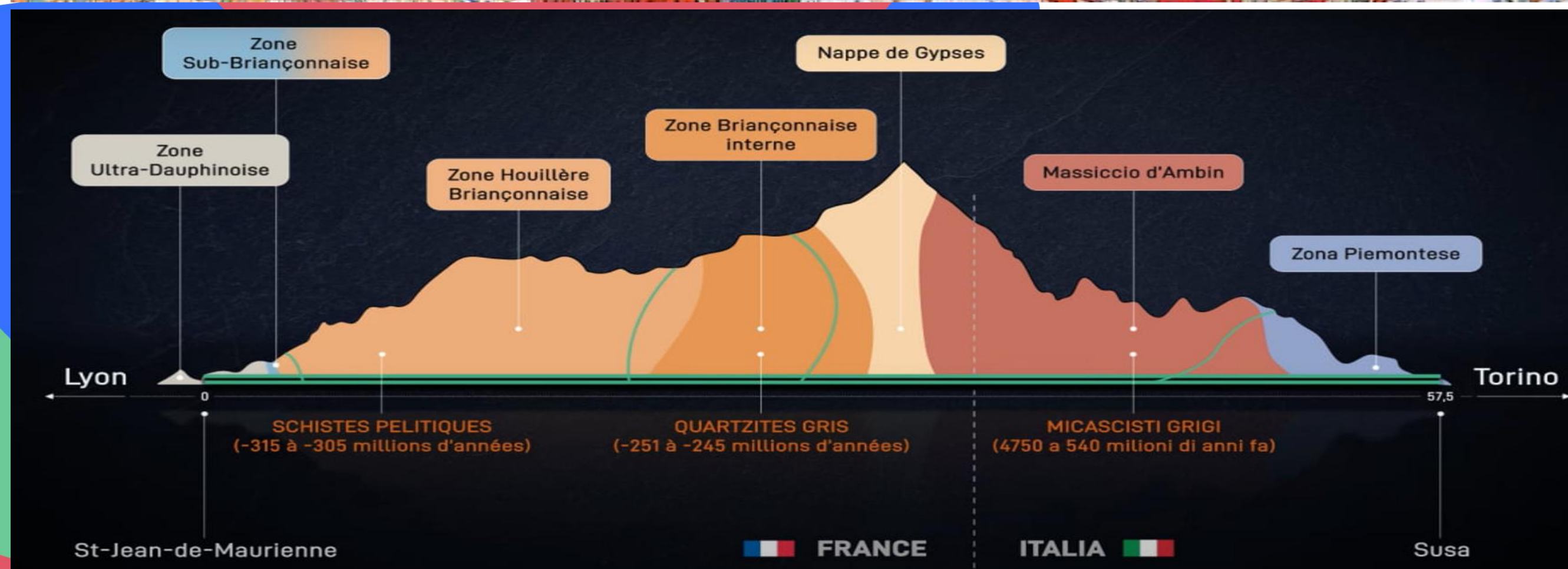


# GEOLOGIE DU PROJET ET INCERTITUDES



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 :

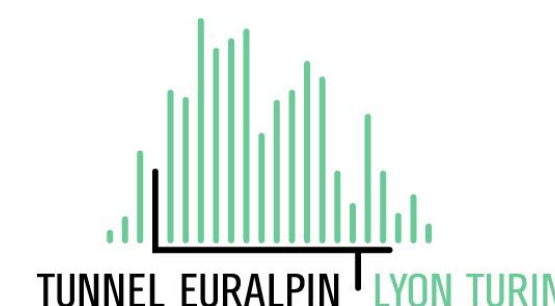
- aquifères principalement au niveau de failles
- circulations d'eau
- risques de karst

## Incertitudes géotechniques :

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

### Reconnaisances

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



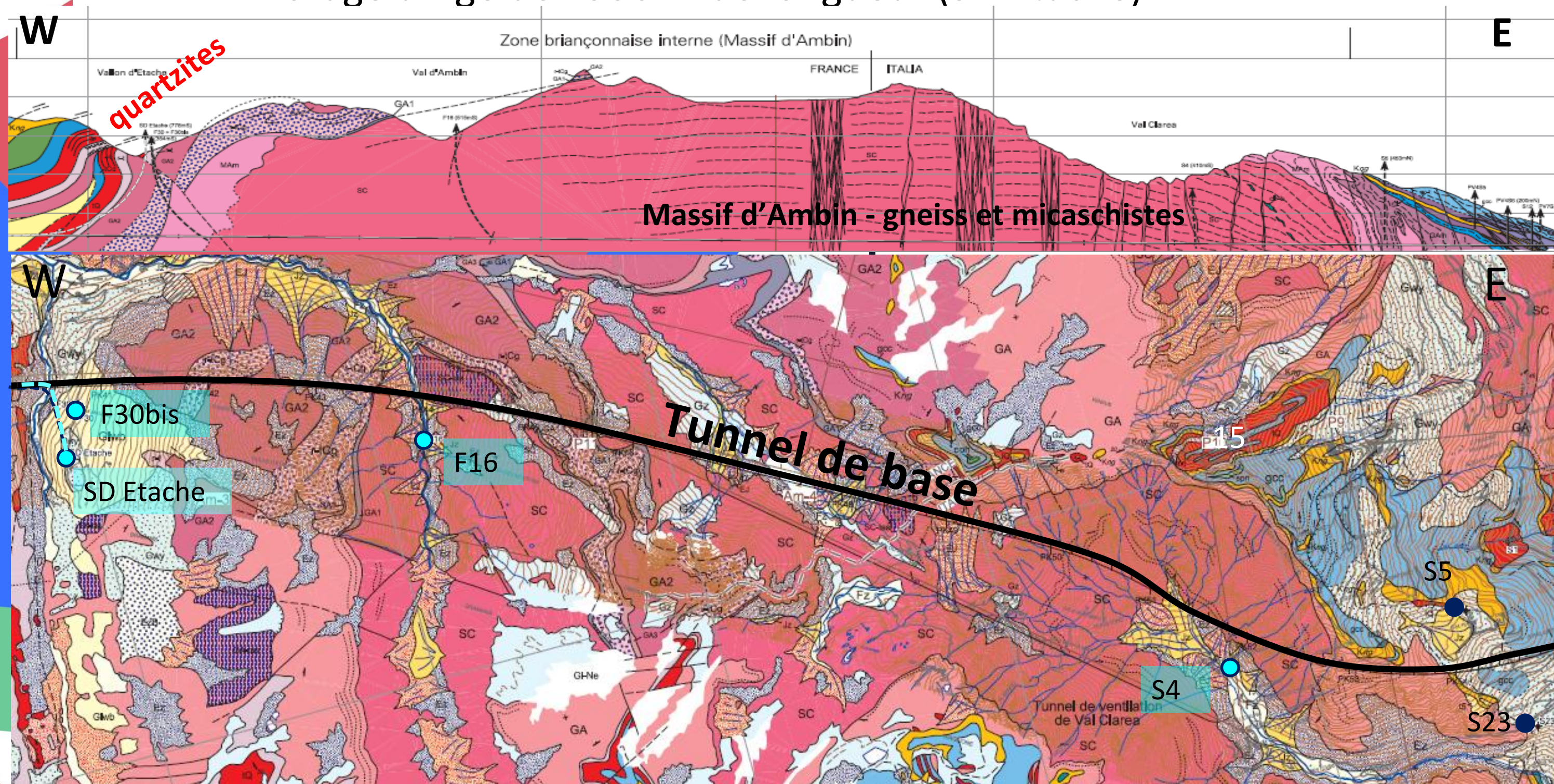


# LES RECONNAISSANCES

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

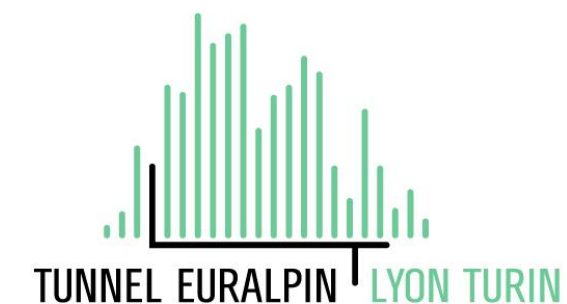
- 3 forages entre 500 et 1600 mètres de longueur (F16, F30bis, S4)
- 1 forage dirigé de 2950 m de longueur (SD Etache)





# 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



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

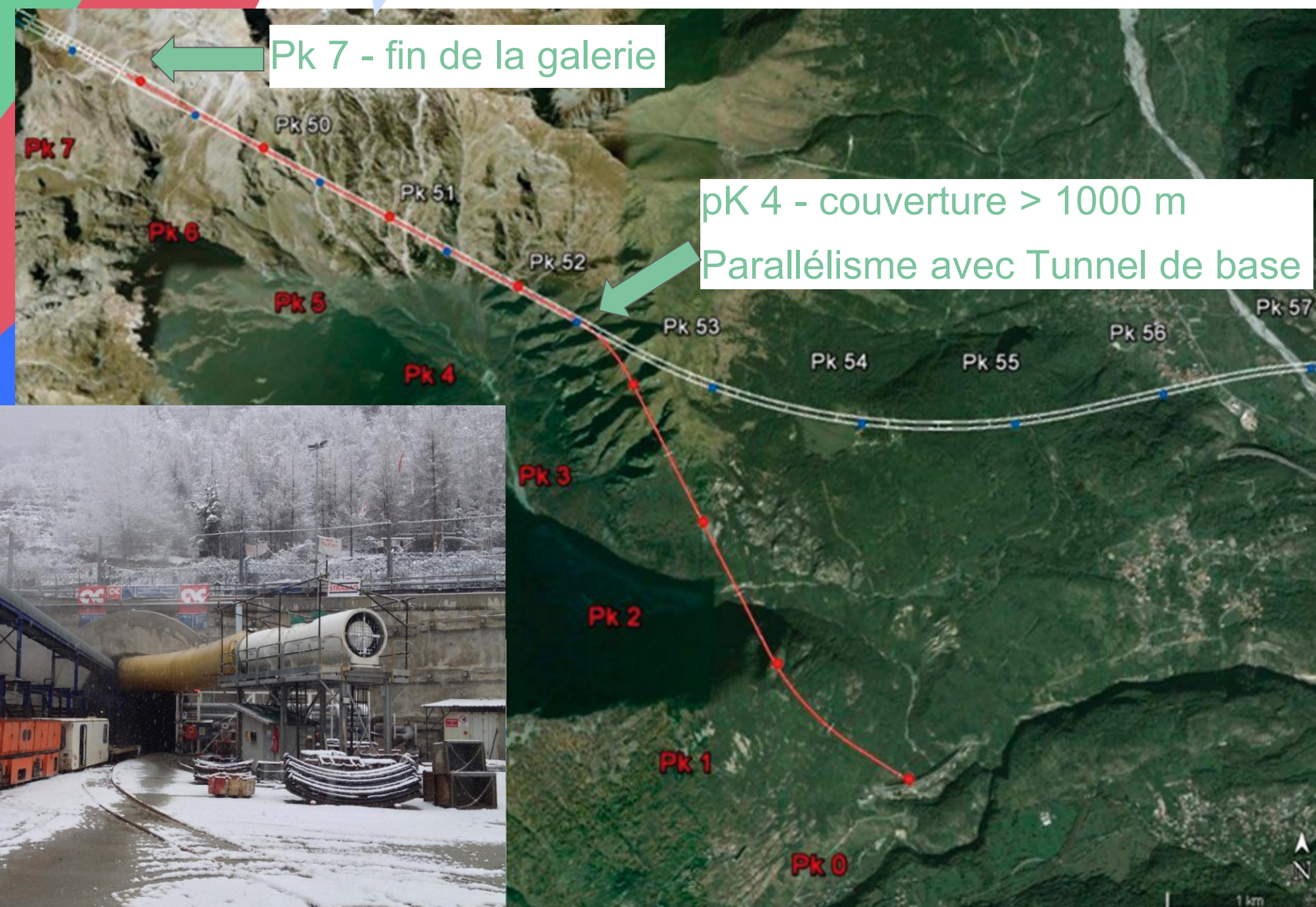
2012  
Inizio dei  
lavori di  
costruzione

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)

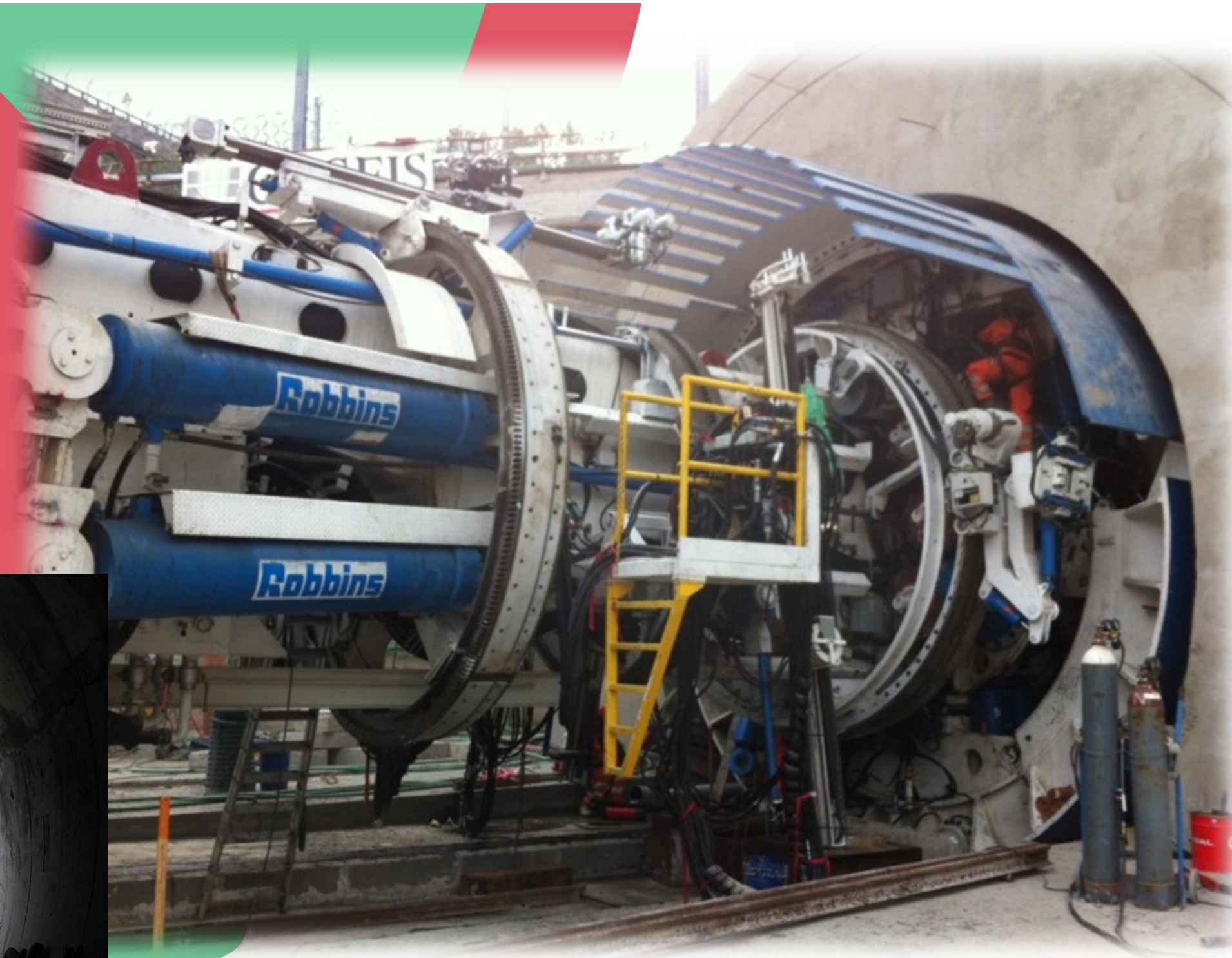




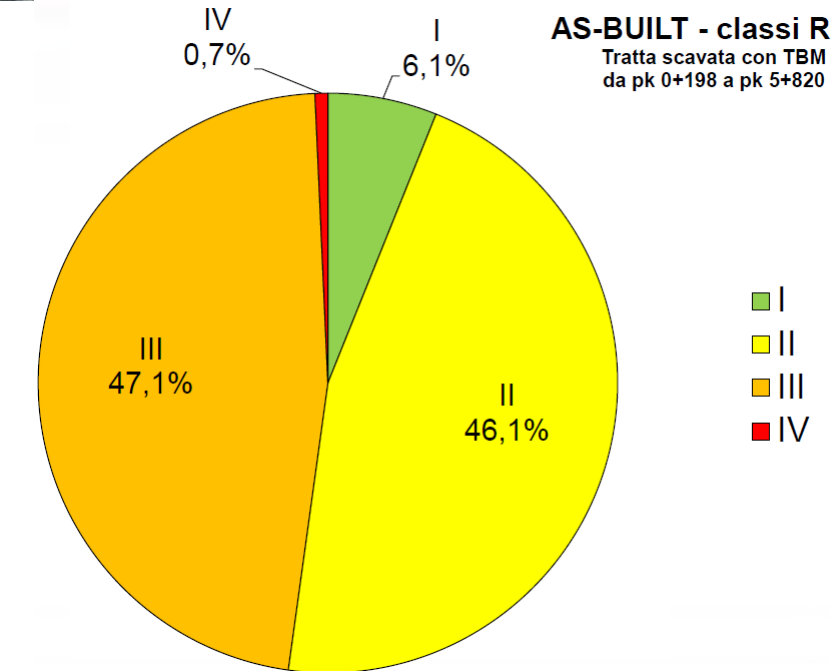
# TUNNEL BORING MACHINE ROBBINS «GEA»

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



AS-BUILT - classi RMR  
Tratta scavata con TBM  
da pk 0+198 a pk 5+820



TUNNEL EURALPIN LYON TURIN



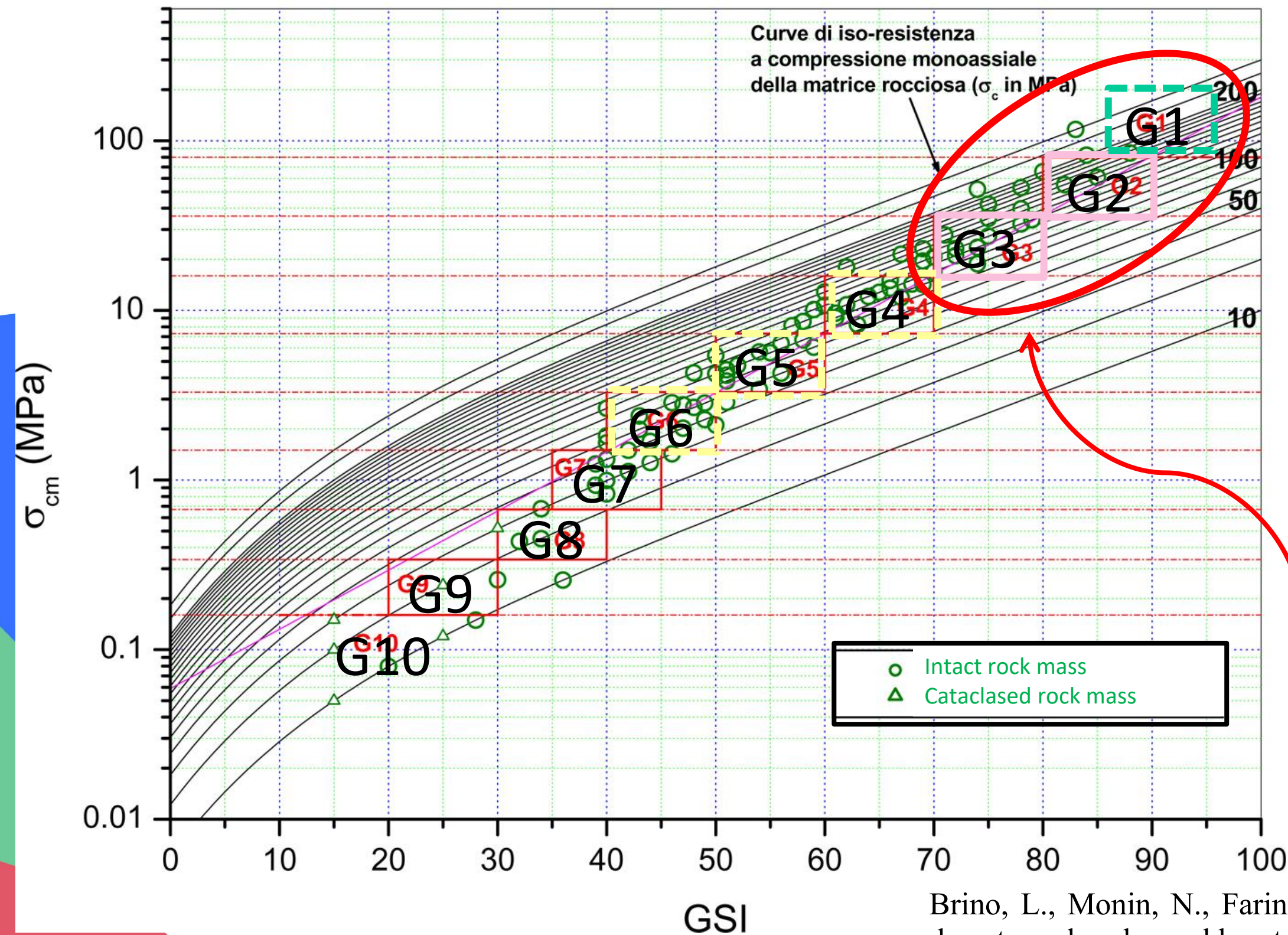
Parisi, M.E., Brino, L., Chabert, A. (2018). Il Tunnel di Base del Moncenisio: bilancio del test di scavo con fresa nel Cunicolo Esplorativo de la Maddalena di Chiomonte – L'opera preliminare. *Swiss Tunnel Congress, Lucerna*, pp. 162-175



# 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  $GSI/\sigma_{cm}$ . Le Massif d'Ambin était caractérisé par les groupes G1 (conditions favorables) et G2-G3 (conditions prévalentes)

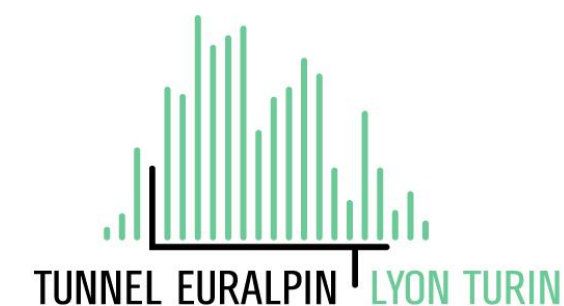


Dominant lithologie	Intact Rock Mass Parameters		
	$m_i$	$\sigma_{cmin}-\sigma_{cmax}$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)
Gneiss ( <i>Gam</i> )	9-12	35-386	80-150
	12-15		150-220
	15-18		220-300
Micascisti ( <i>Mam</i> , GA2)	6-8	27-136	40-60
	8-10		60-85
	10-12		85-110
micascisti (SC)	6-8	37-194	60-90
	8-10		90-135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

State and condition :

Unfavorable Prevalent Favorable

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

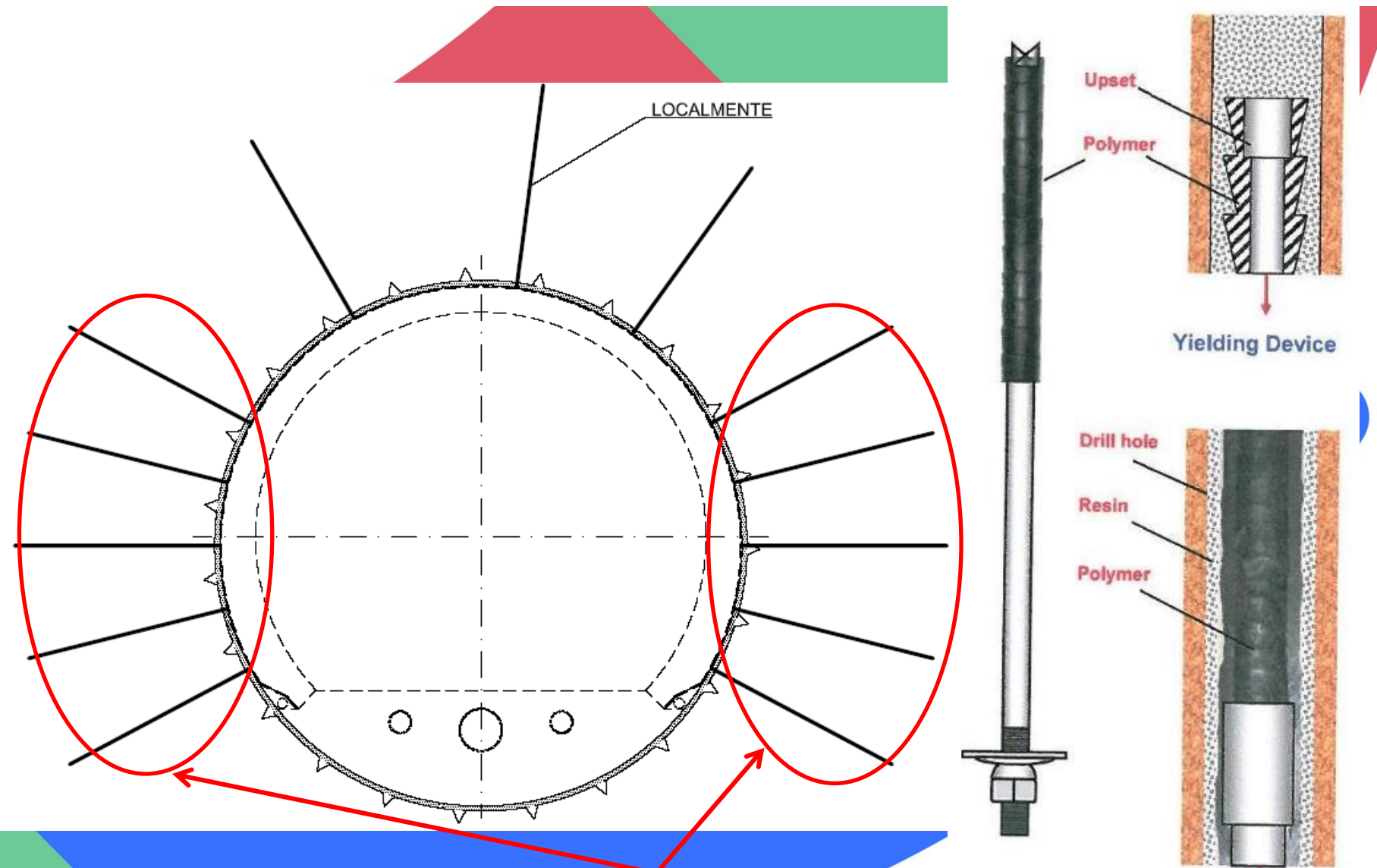




# PREVISION DU PHENOMENE DE ROCKBURST

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

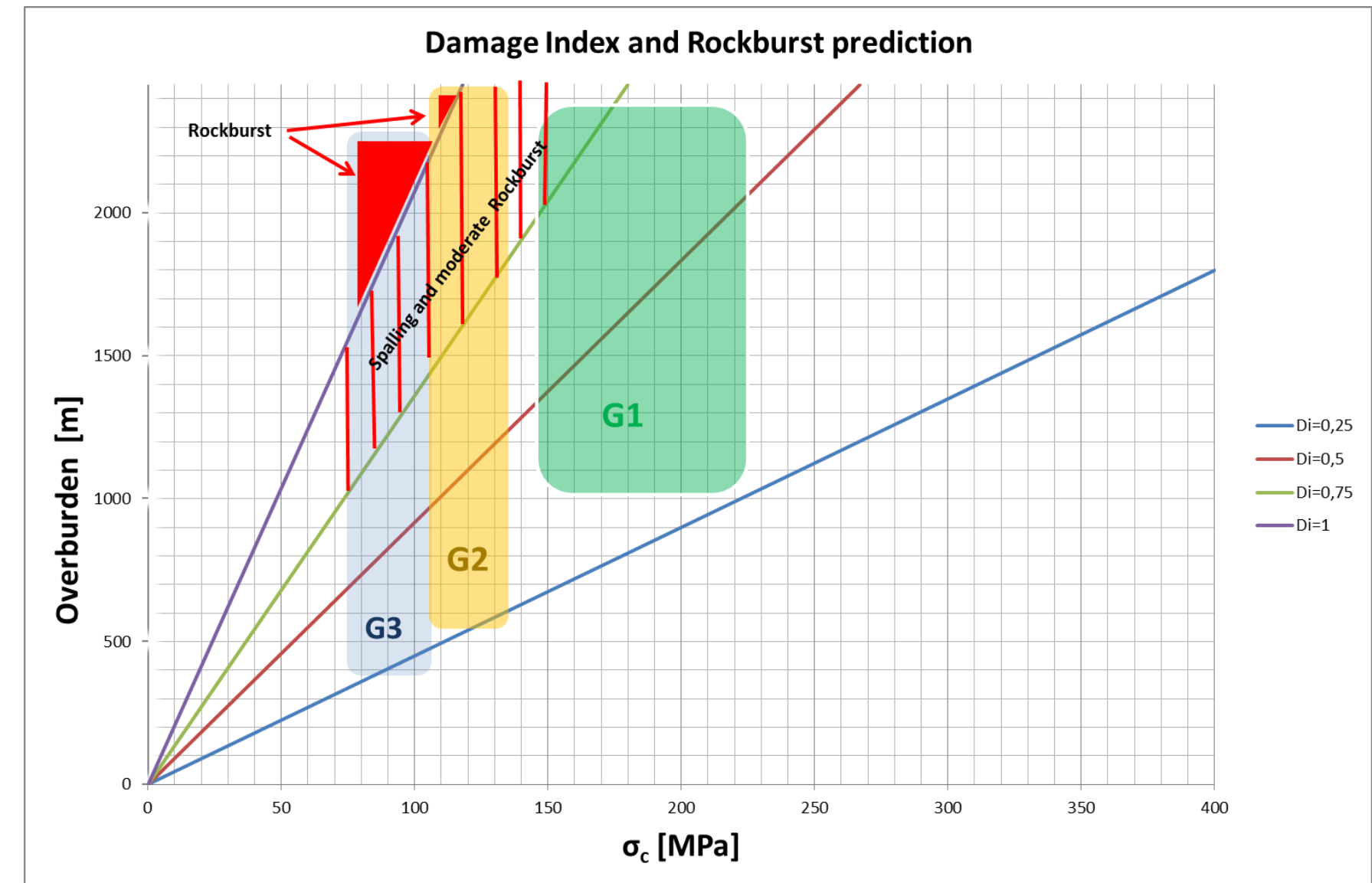
La galerie de reconnaissance devait traverser plus de 3 km entre les deux tubes du Tunnel de base et permettre de recueillir de nouvelles données sous une couverture entre 1000 et 2000 m



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

Résistance à la rupture : 178 kN

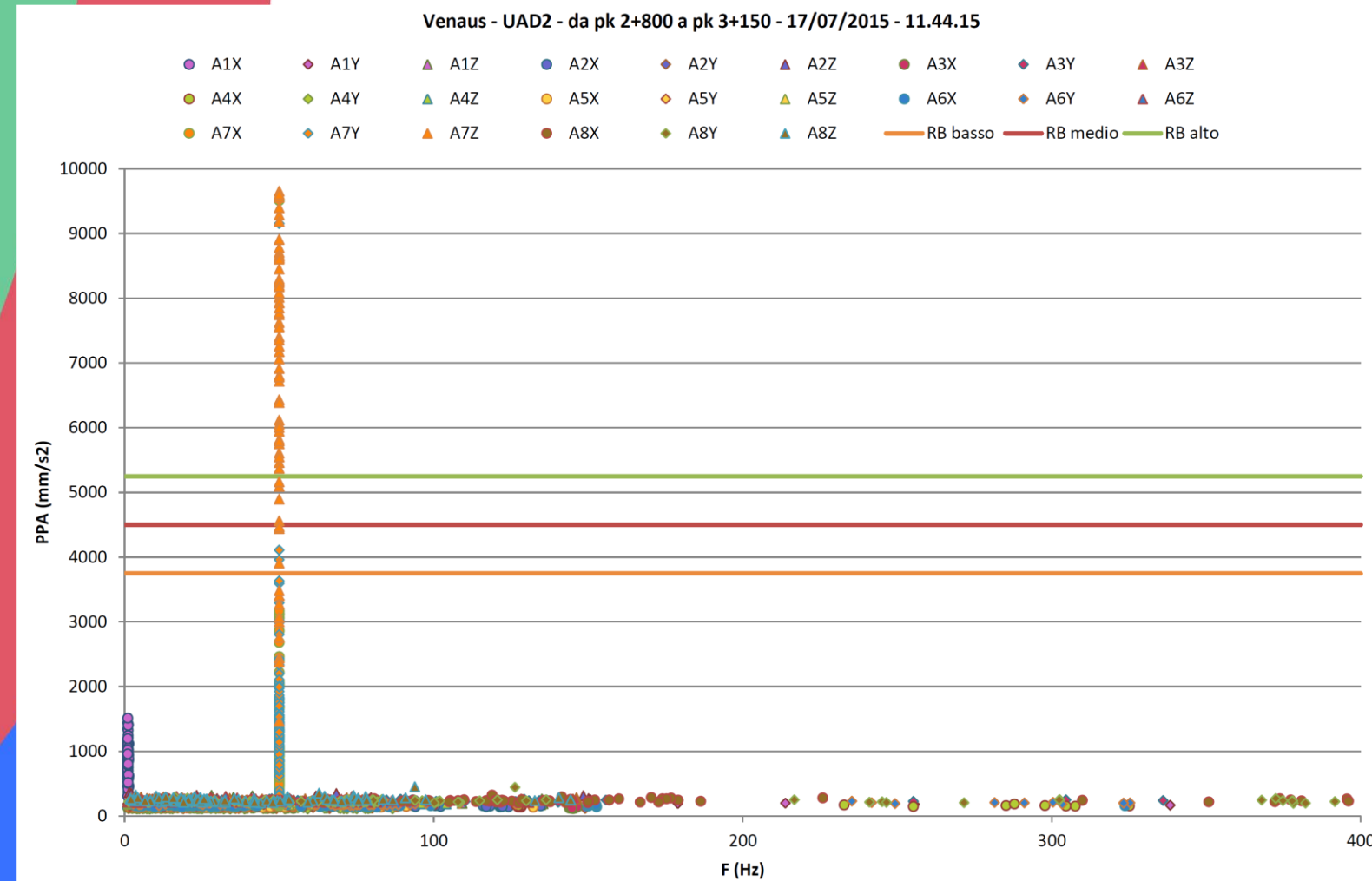
Allongement de l'acier : 8 %





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



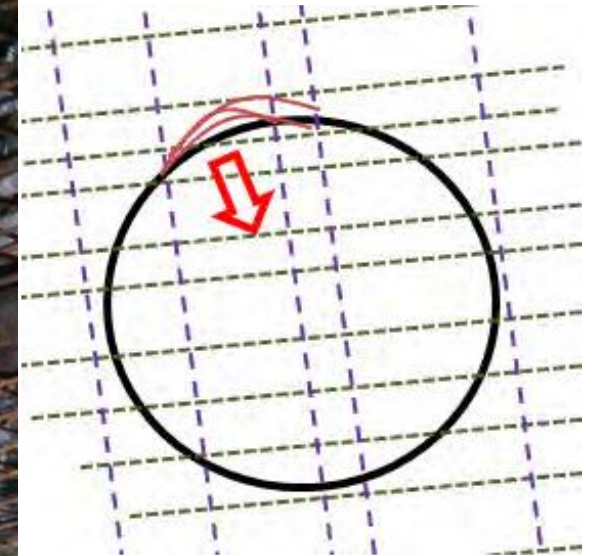


Un seul phénomène de fracture fragile s'est produit le 23 décembre 2015, aux alentours du pK 4+200, affectant les 10 à 12 derniers mètres creusés environ

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)





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

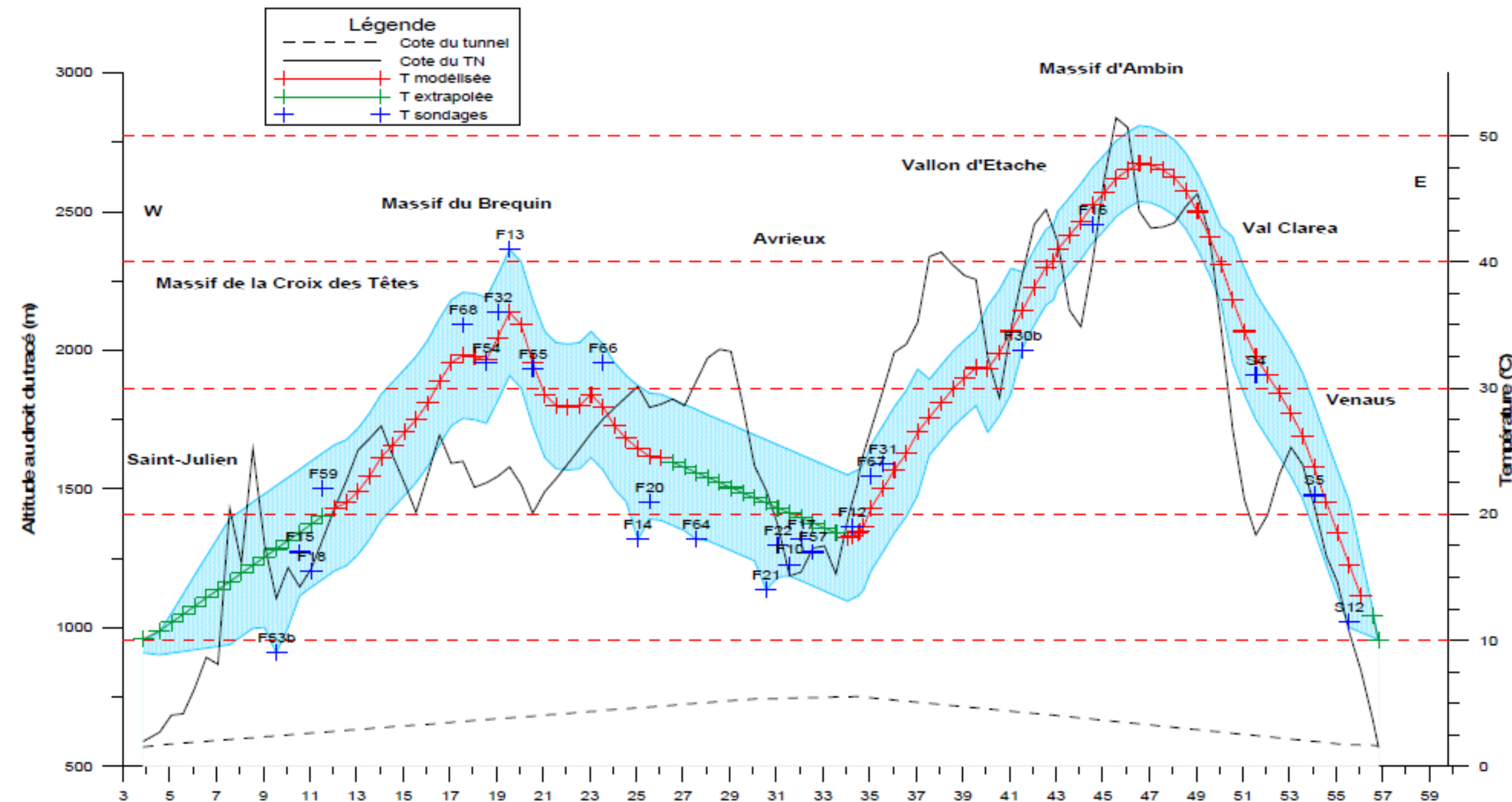




# MODELE GEOTHERMIQUE

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  $47^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}$



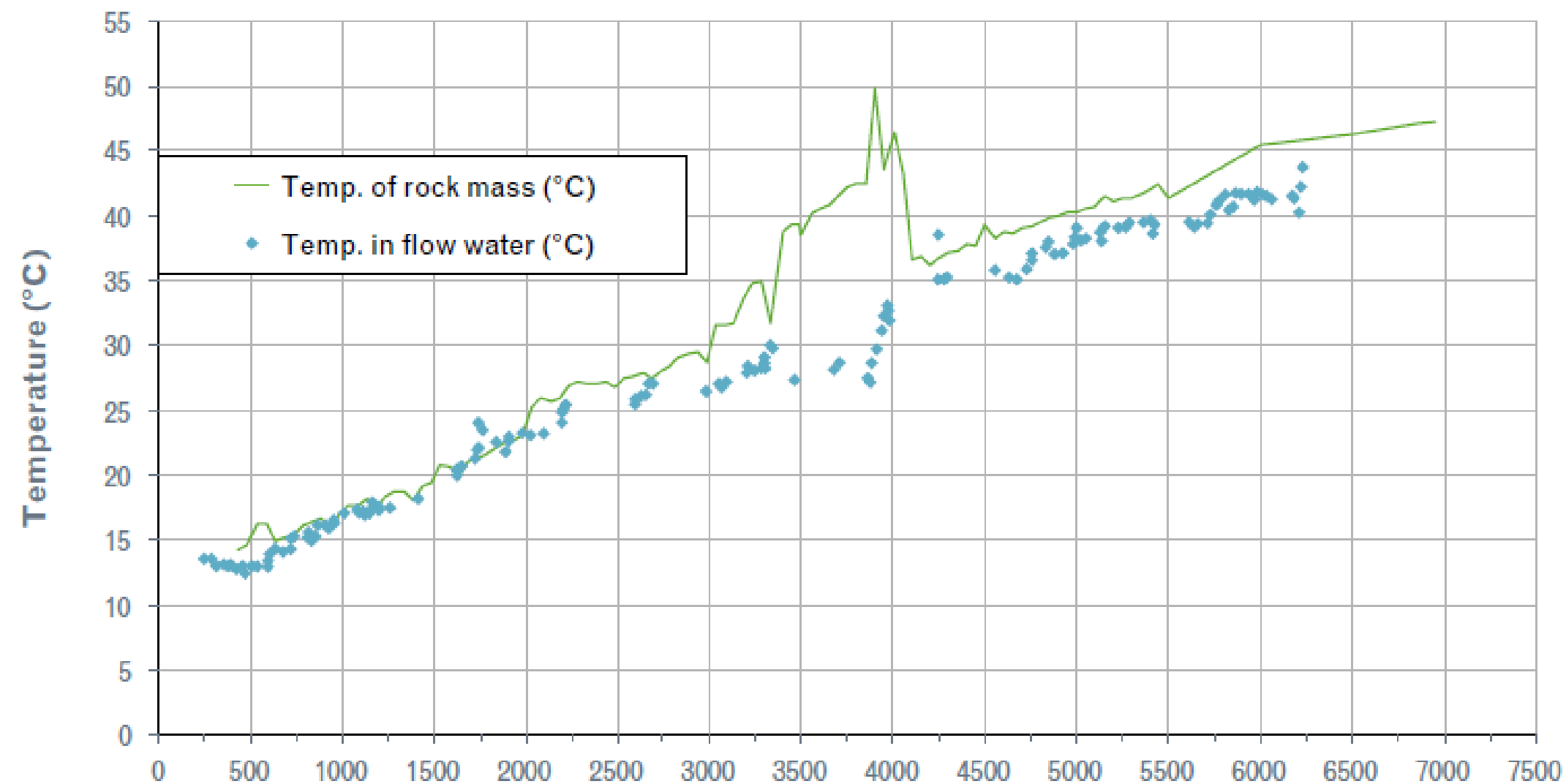
TUNNEL EURALPIN LYON TURIN



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



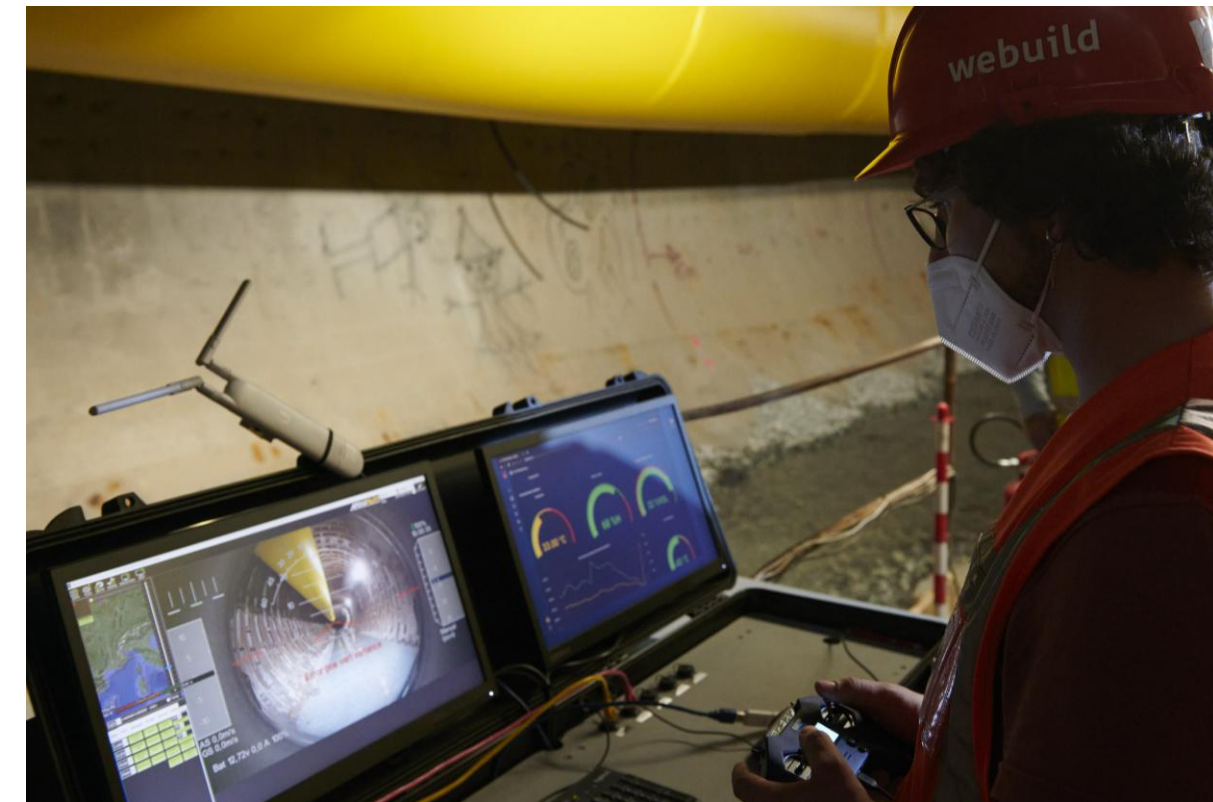
En cours de creusement de la galerie de reconnaissance de la Maddalena, la température maximale atteinte a été de 50°C, et 47° C au niveau de l'extrémité ouest de la galerie





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

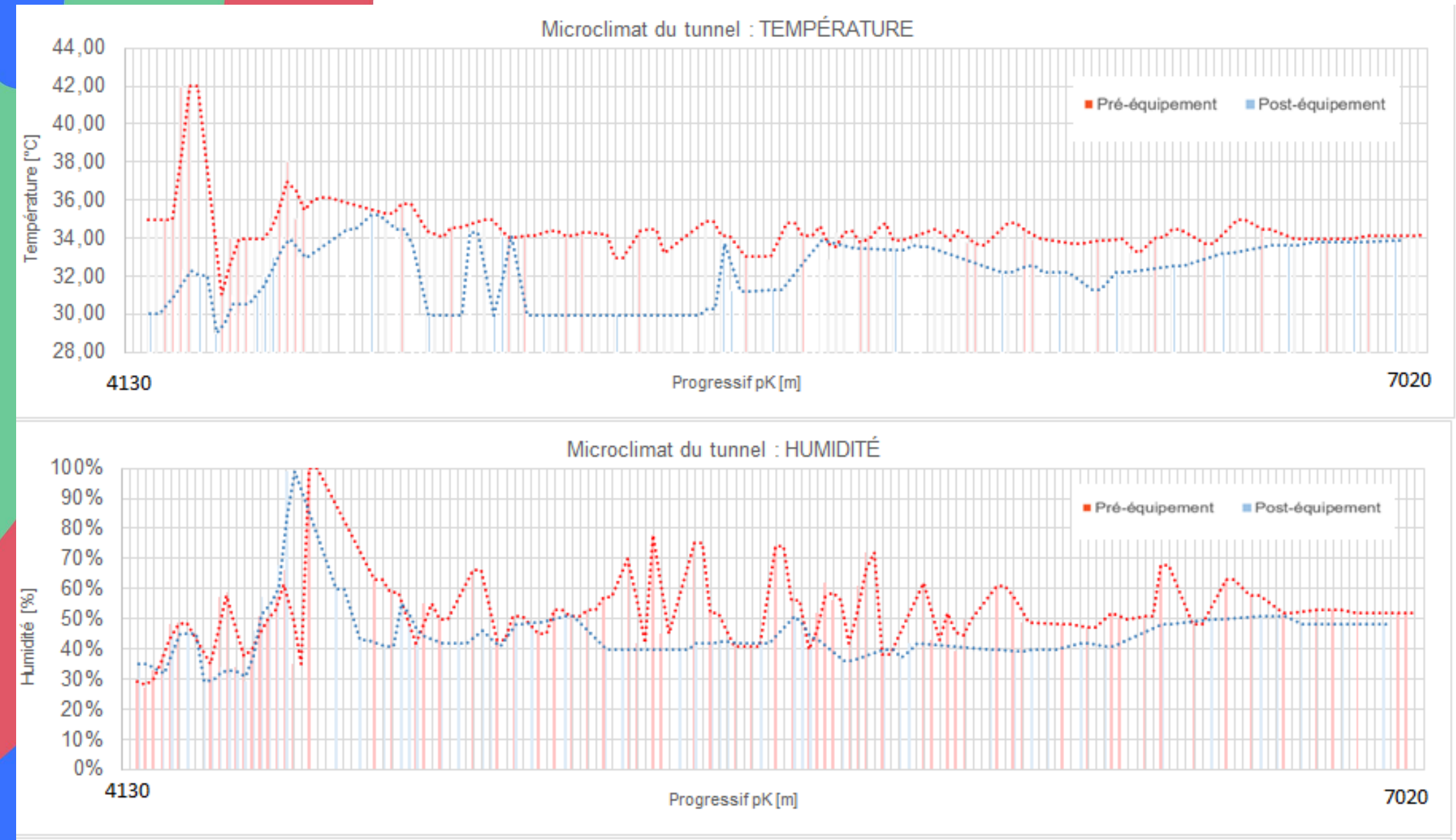




Les valeurs de température mesurées le long de la galerie ont révélé une moyenne de 35°C

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

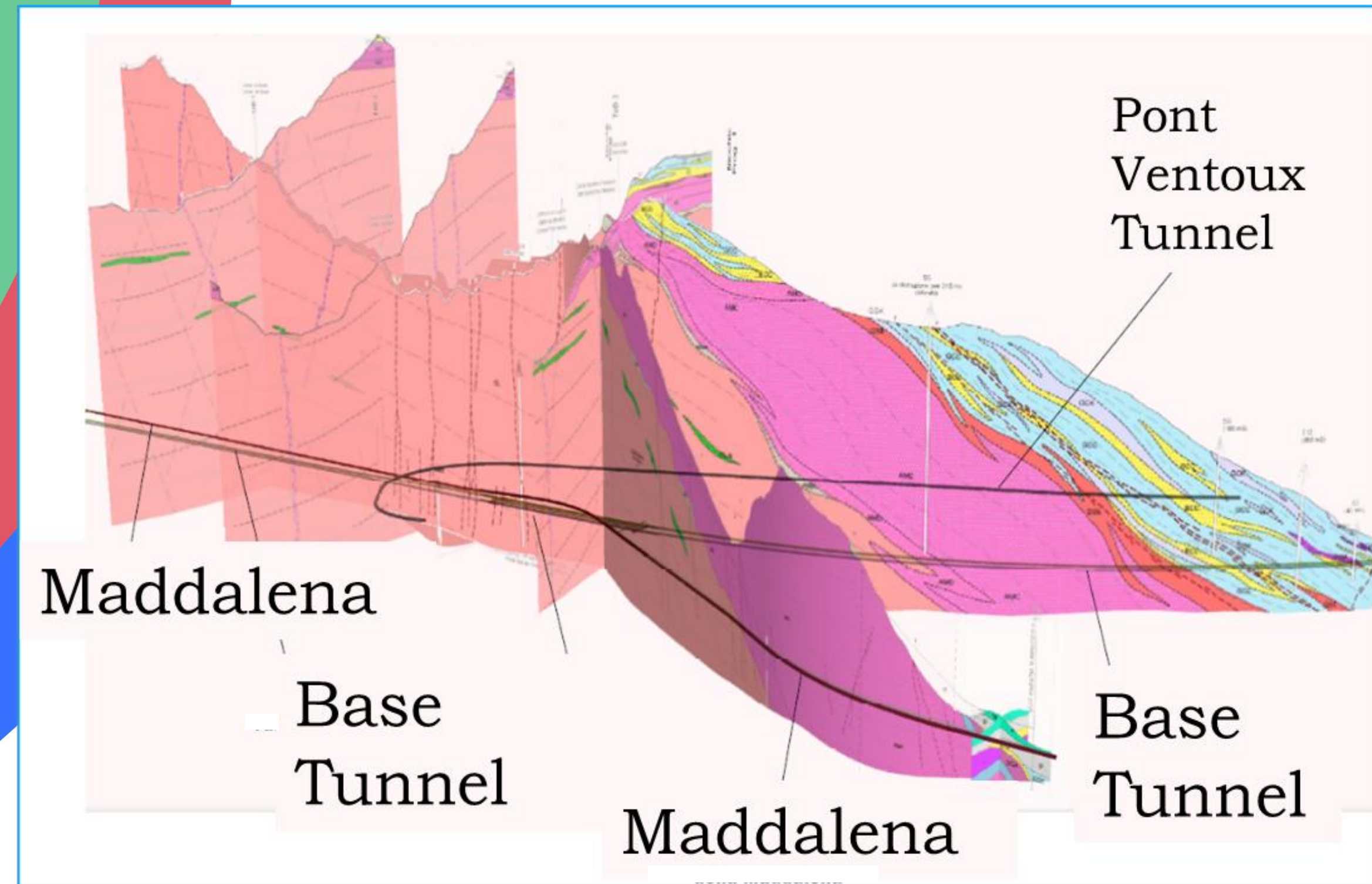
Ce retour d'expérience montre une décroissance progressive de la température de la roche observée lors du creusement, même en absence de ventilation ; pour mémoire, dans le Simplon, la température maximale mesurée est passée en un siècle de 55° à 35°C





## LESSONS APPRISSES

- 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](http://www.telt.eu)**

**#LyonTurin**