cfms
COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Demi-journée scientifique et technique
« Recommandations relatives à l'instrumentation des ouvrages géotechniques »

INSTRUMENTATION DU TUNNEL LYON TURIN

BETH, Martin

sixense
Monitoring

11 SEPTEMBRE 2025

cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

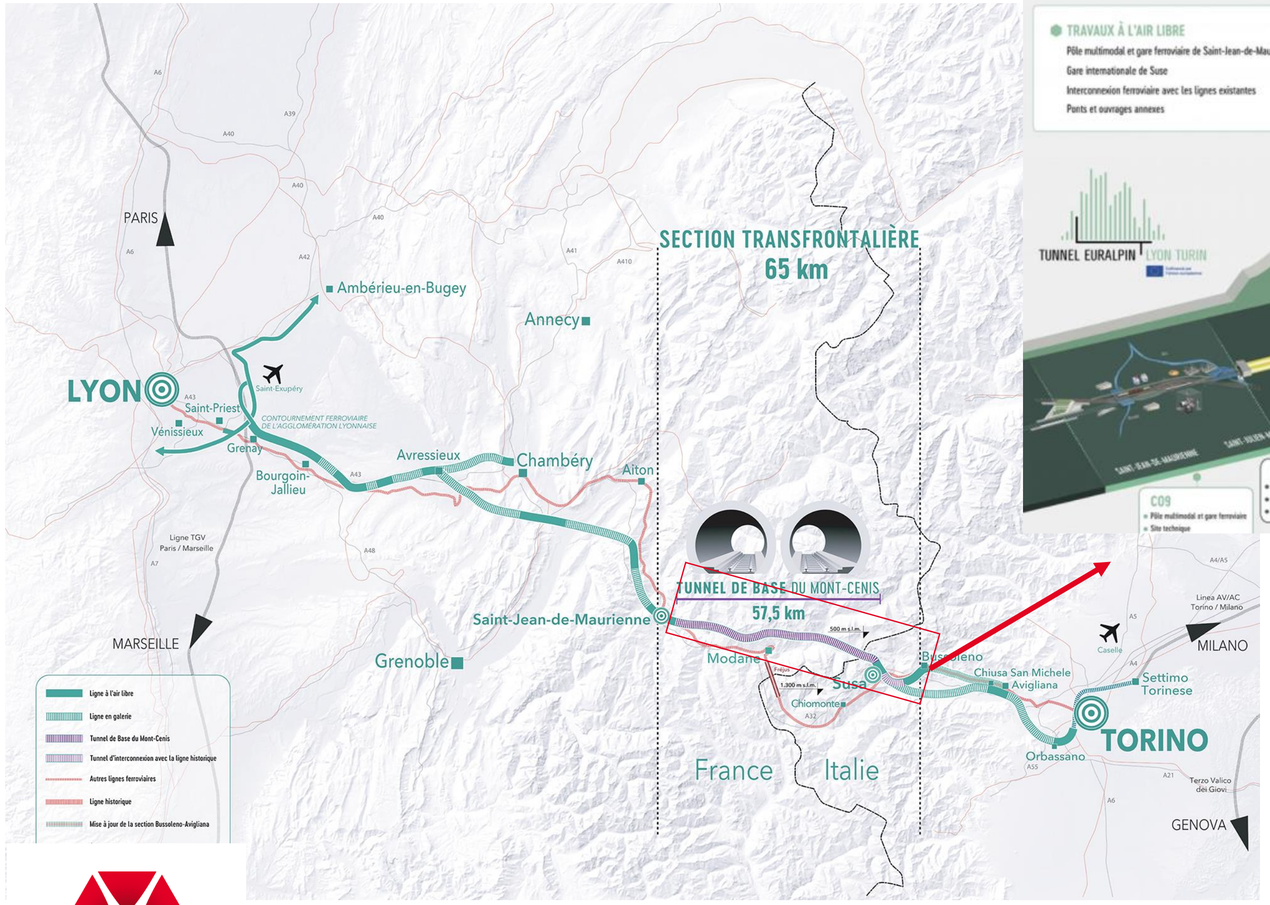
Retour d’expérience grands ouvrages

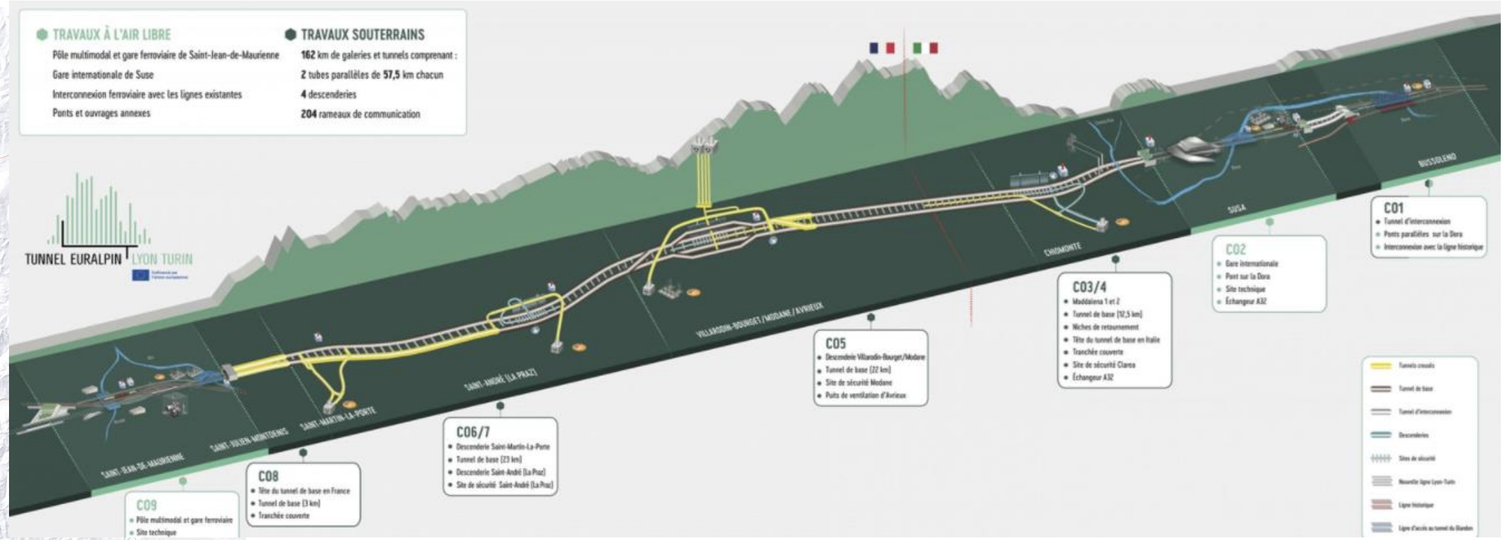
sixense Monitoring

INSTRUMENTATION DU TUNNEL LYON TURIN

½ JST DU 11 SEPTEMBRE 2025

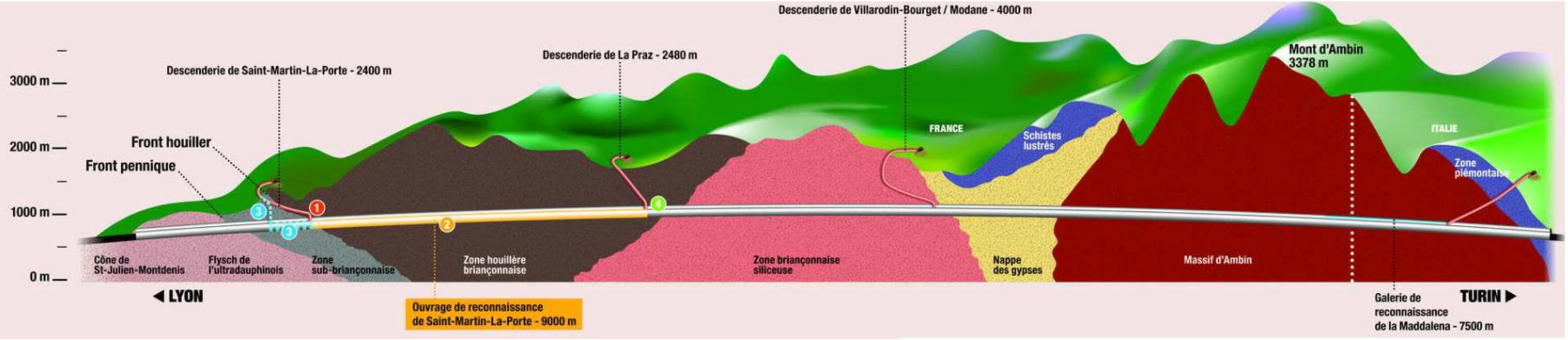
Le projet





Source : https://www.telt.eu

La géotechnique



Source : Article Stocker Humbert, https://cloud.telt-sas.com/index.php/s/3QE2jWLBPSNBVM1

Fortes convergences
Multiples géologies
Zones de failles
Fortes venues d'eau

Creusement au tunnelier (75%) et en traditionnel (25%)
Traditionnel dans les zones les plus complexes

Le projet d’instrumentation

Objectifs de l’instrumentation (CCT TELT)

- Surveiller, à court terme comme à long terme, le comportement de la section excavée, du soutènement et du massif rocheux. Réduire les incertitudes résiduelles.
- Permettre l’adaptation du soutènement dans les zones en traditionnel ;

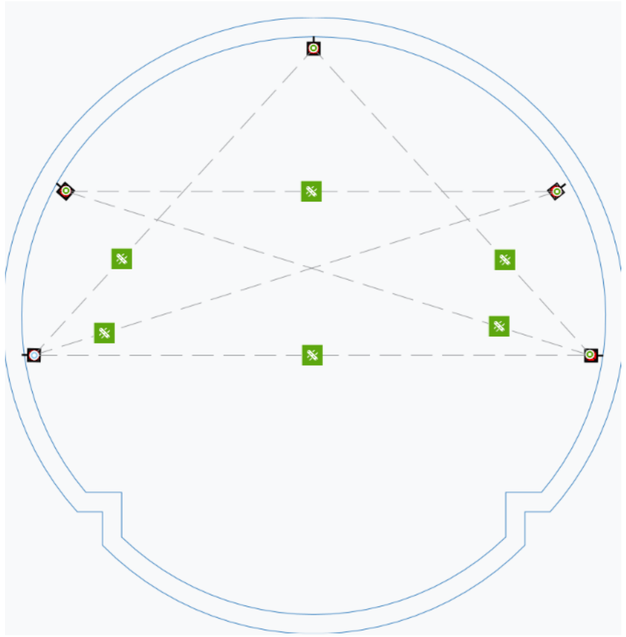
Le projet d’instrumentation

Les catégories de mesures pour atteindre cet objectif (CCT TELT)

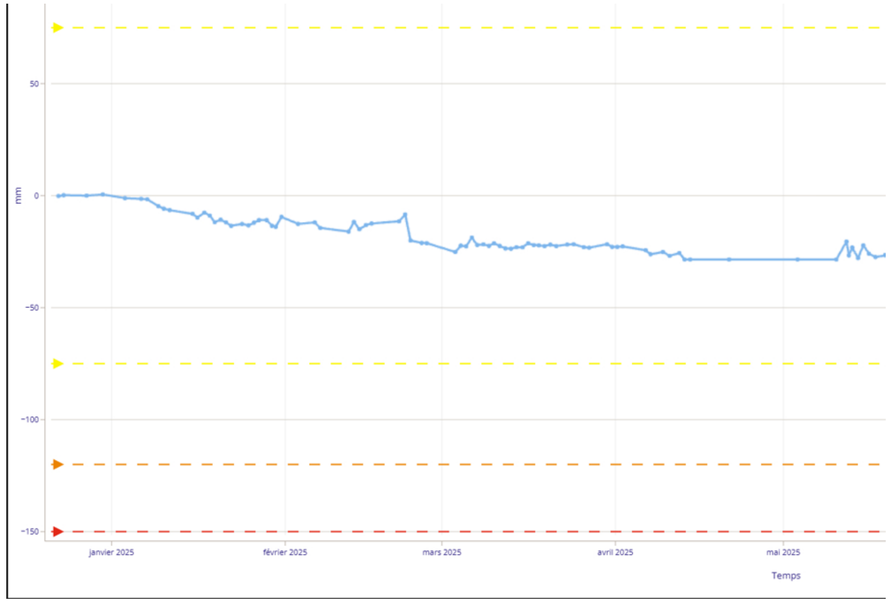
- Vérification tridimensionnelle de l’évolution des déformations dans le tunnel (front et profil d’excavation)
- Vérification de l’adéquation de l’interaction entre le massif rocheux et le système de soutènement
- Analyse de l’état de contrainte dans les structures de soutènement, y compris contraintes anisotropes
- Analyse de l’évolution de l’état de contrainte dans le revêtement définitif pour certaines sections spécifiques.
- Le cas échéant, assurer le suivi et l’analyse du comportement des avoisinants

Mesures de convergence

Le plus souvent en mesures manuelles par les géomètres des entreprises de travaux.
Précision typiquement 2 à 3 mm.



Complexité des mesures proches du front
- Accès
- Enchaînement des phases
- Destructions

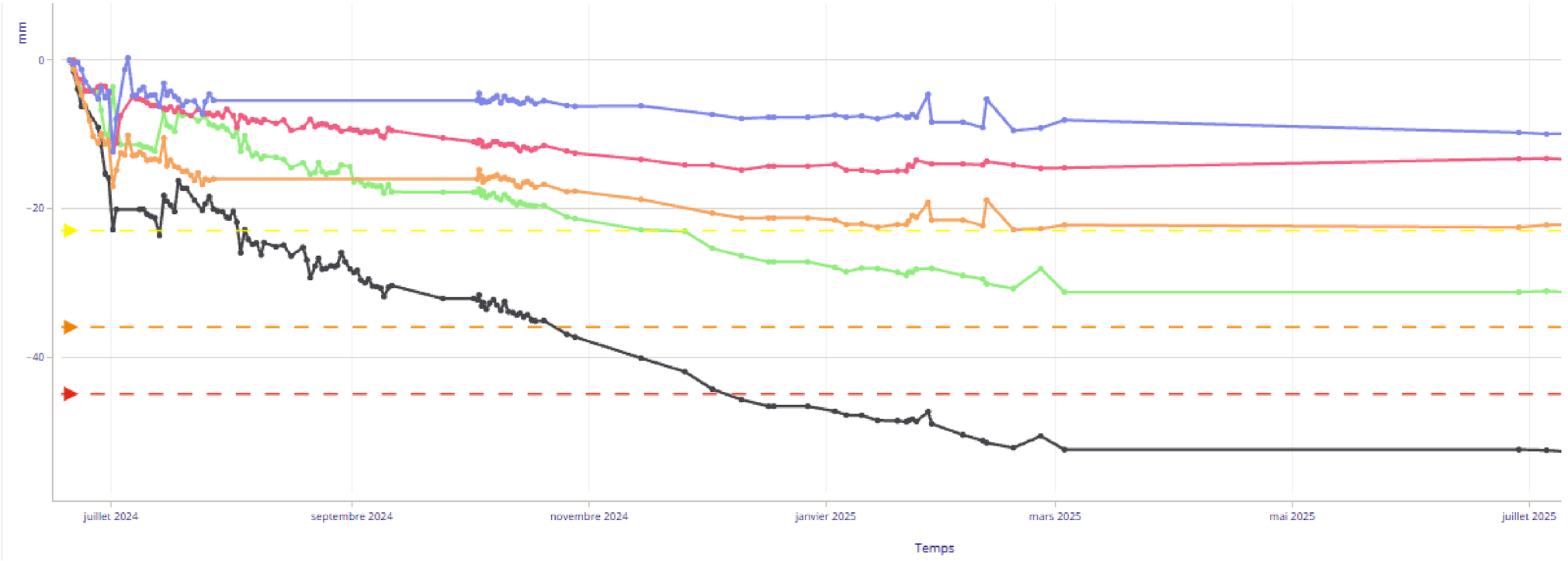


Mesures de convergence

En théodolite automatique dans les zones complexes ou à enjeux (besoin précision, mouvements rapides attendus, forts mouvements attendus…)

Mesures de convergence

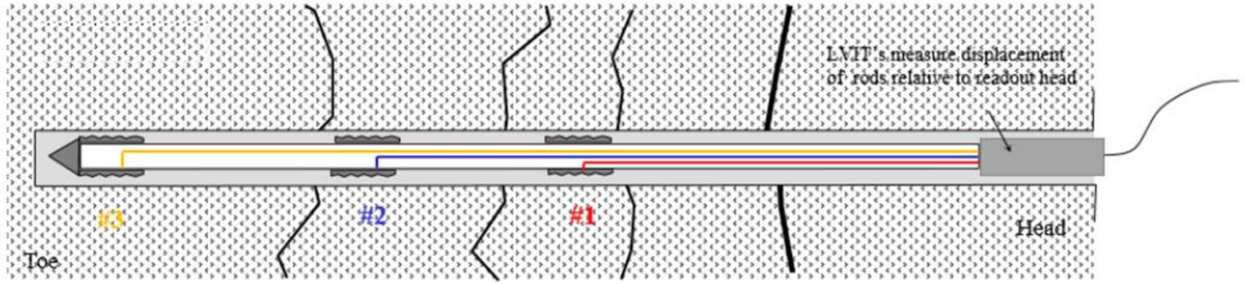
Exemple données de convergence

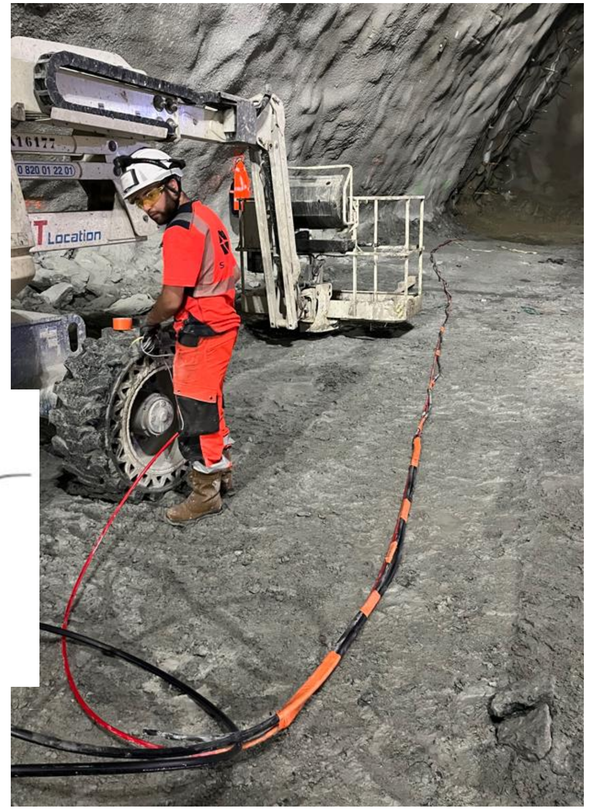


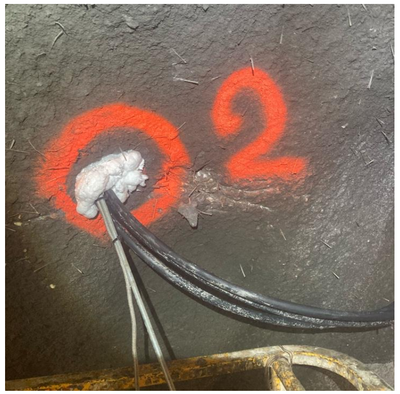
Mesures de mouvements du sol – Extensomètres de forage

Mesure des mouvements relatifs entre ancres et tête

Importance de protéger la tête

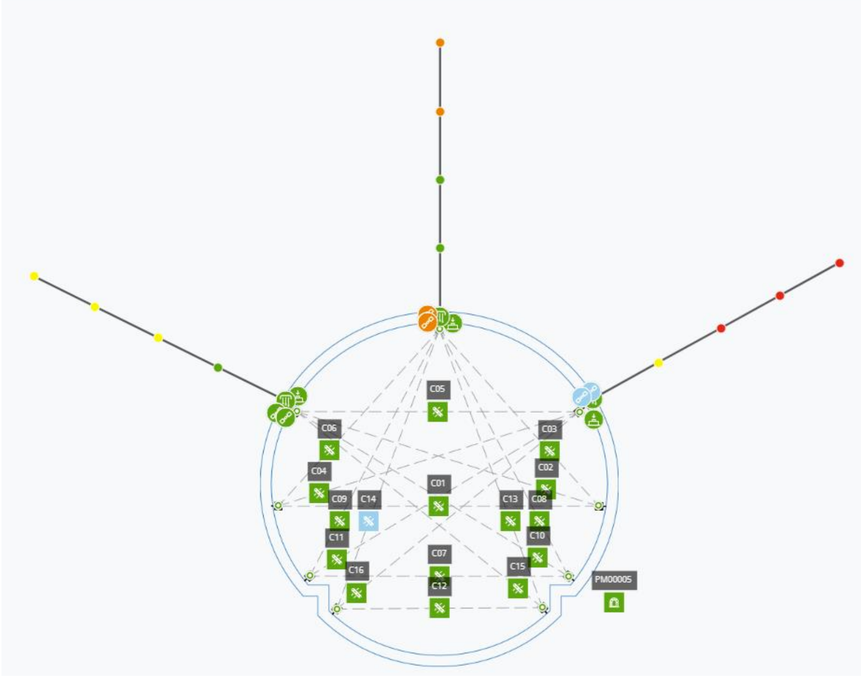


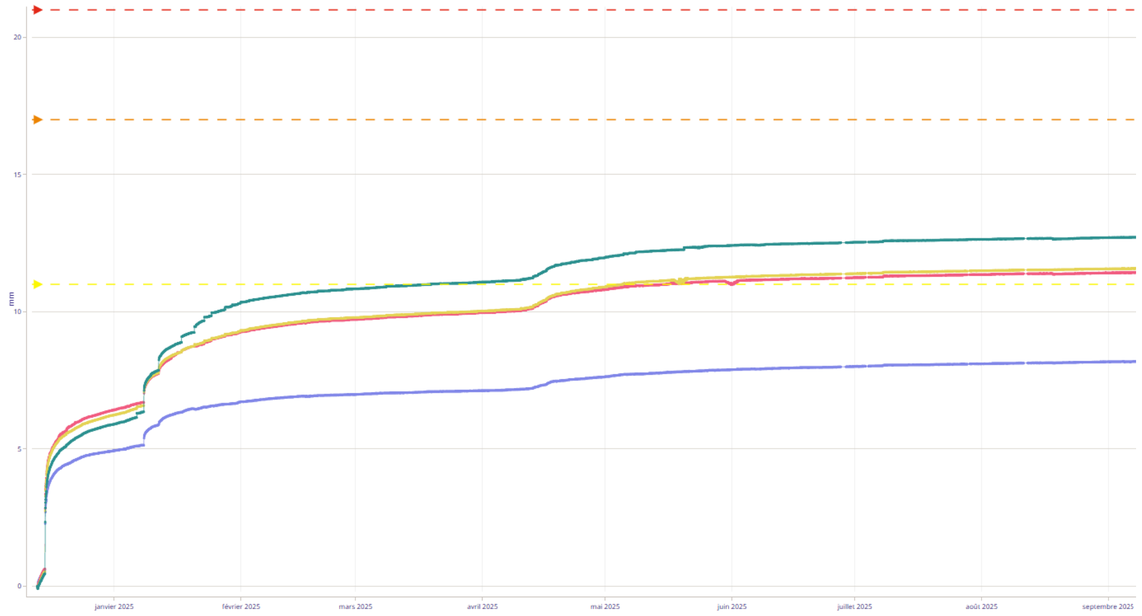




Mesures de mouvements du sol – Extensomètres de forage

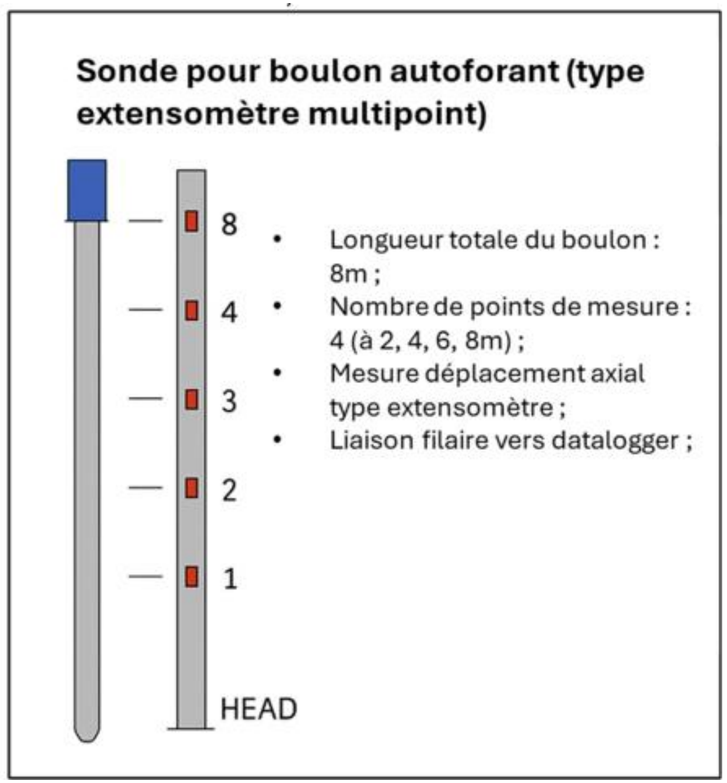
Analyse des phénomènes de convergence
Chaque phase de travaux est bien visible
Précision millimétrique.





Mesures de mouvements du sol – Extensomètres de forage

Variante en instrumentant les boulons de soutènements.
Evite un forage, efficace, efficient
Mesure de la charge dans le boulon

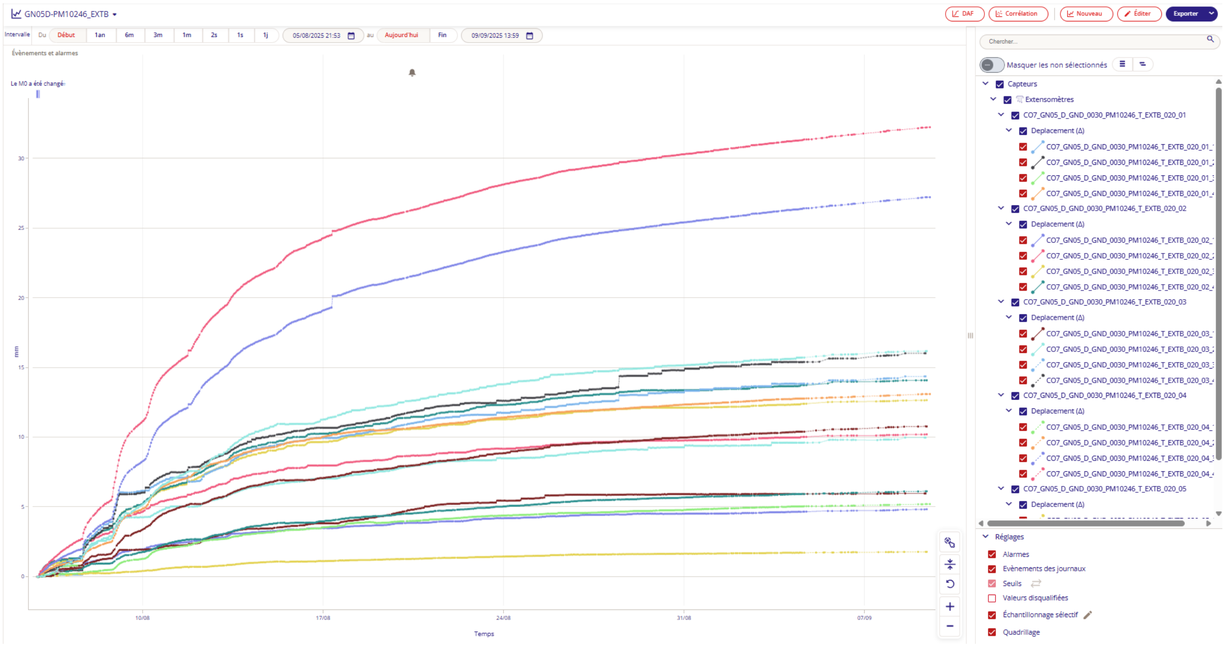


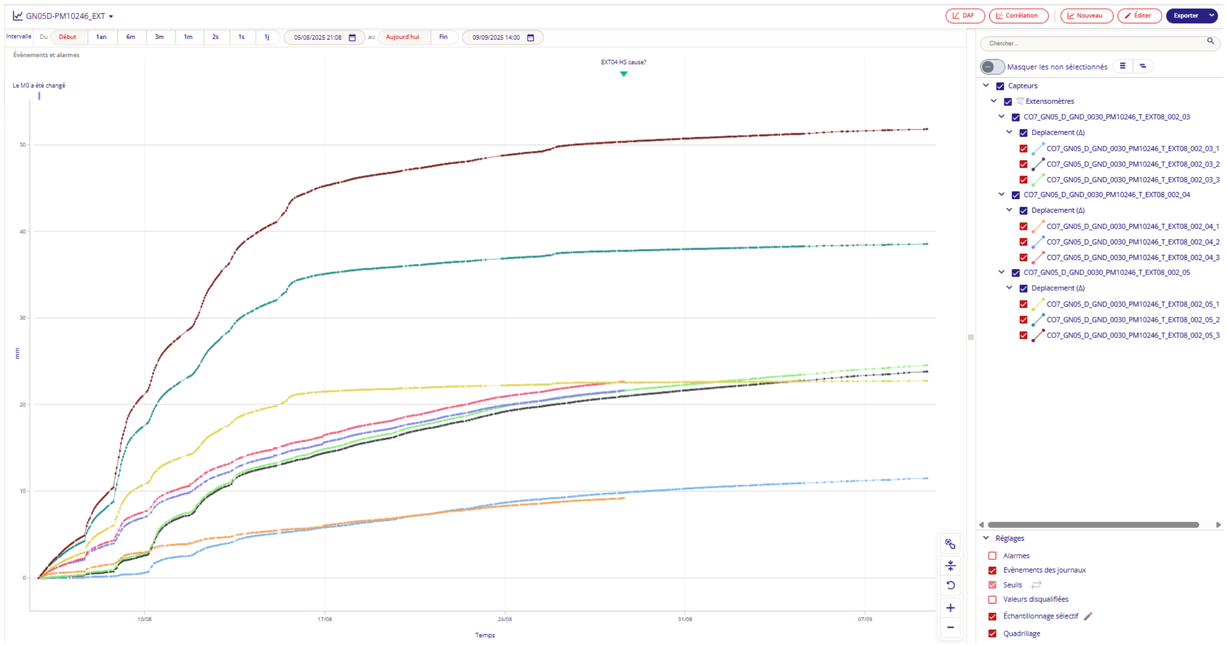
YieldPoint
Powered by Epiroc

sixense Monitoring

Mesures de mouvements du sol – Extensomètres de forage

Variante en instrumentant les boulons de soutènements.
Exemple dans le Houiller Productif : mesures similaires dans boulons (gauche) et dans extensomètres (droite)



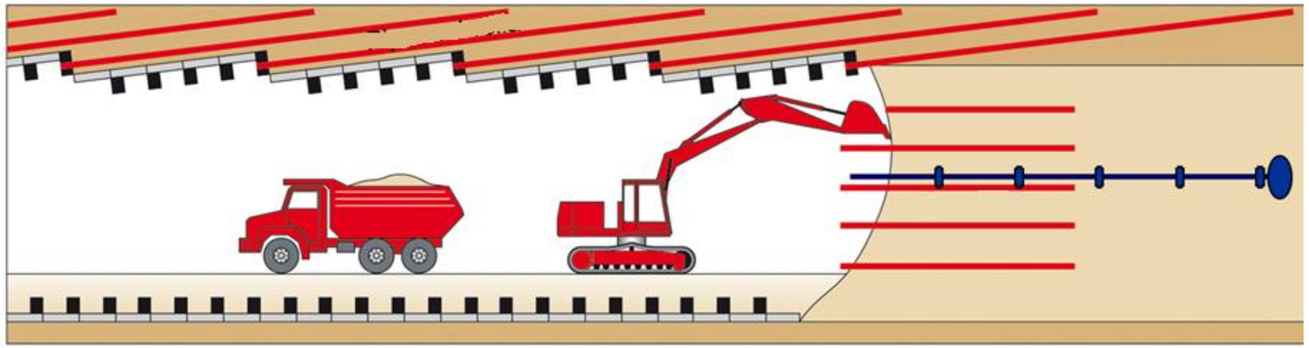


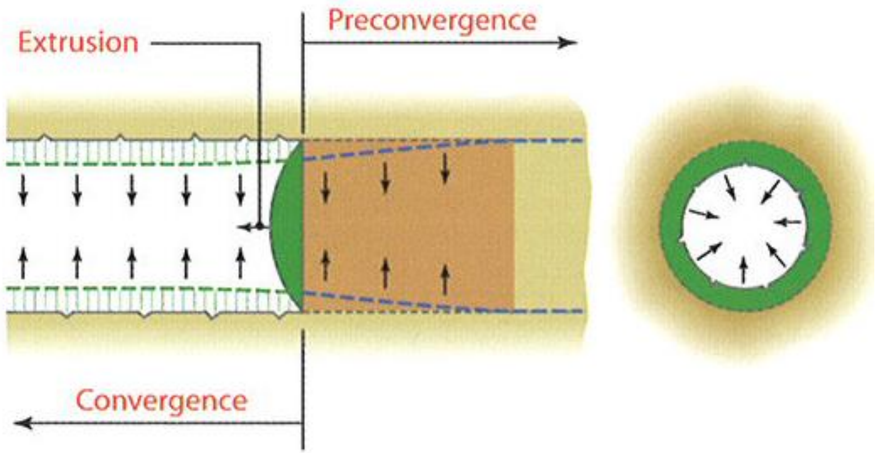
Mesures de mouvements du sol – Extrusomètres

Mesure du mouvement du front

Paramètre clé (pilotage travaux avec extrusion et convergence, modèles prévus)

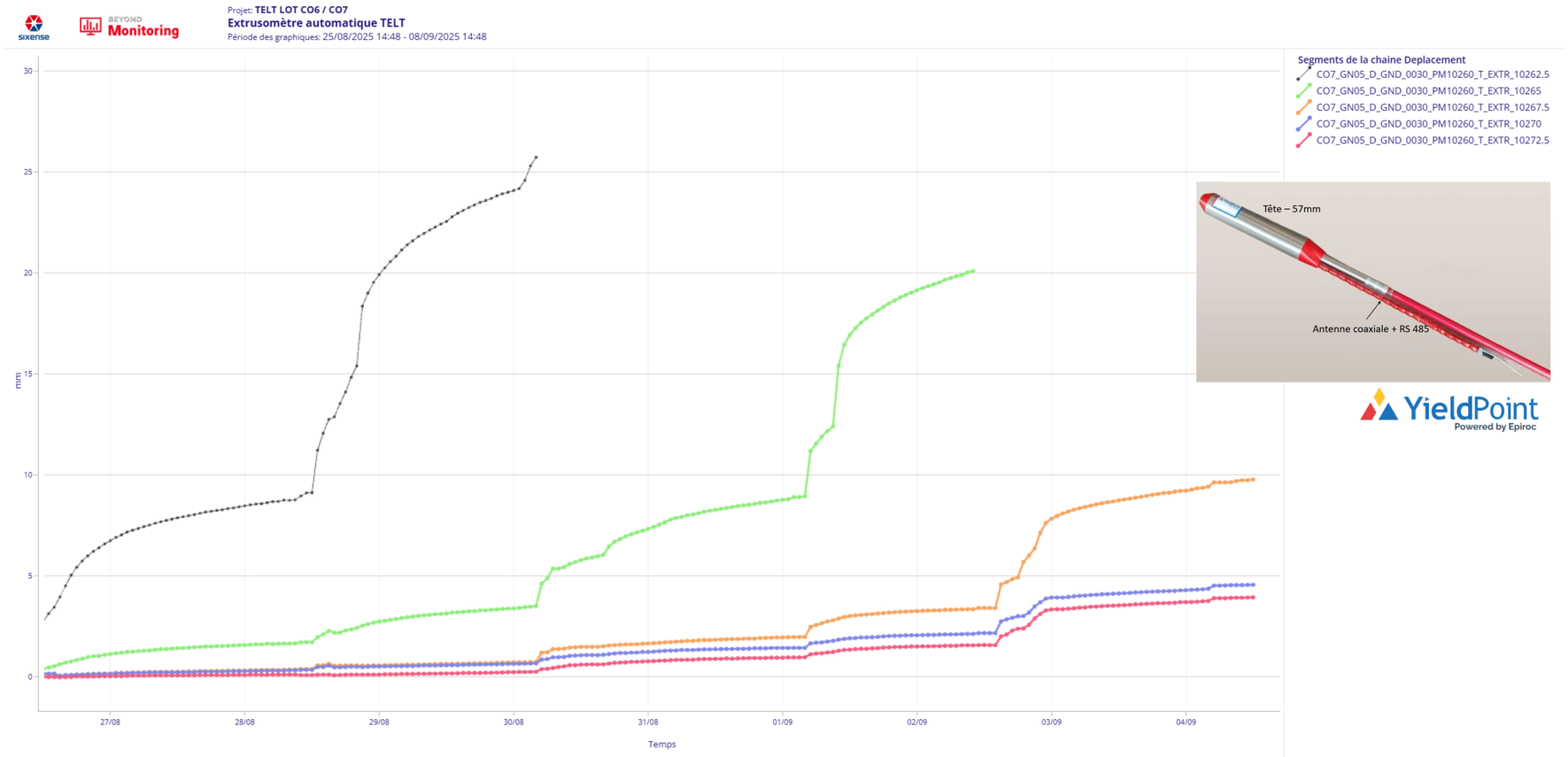
Mesures complexes en capteur manuel





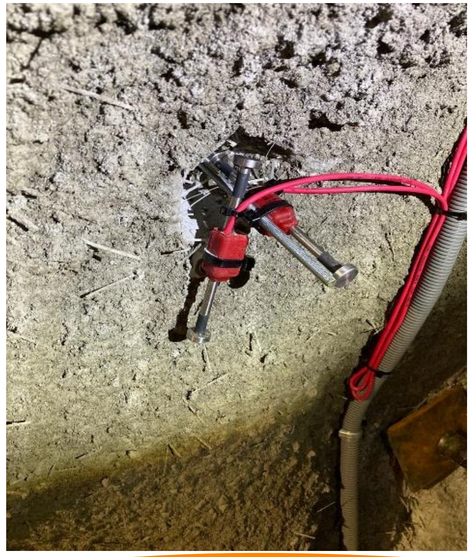
Mesures de mouvements du sol – Extrusomètres

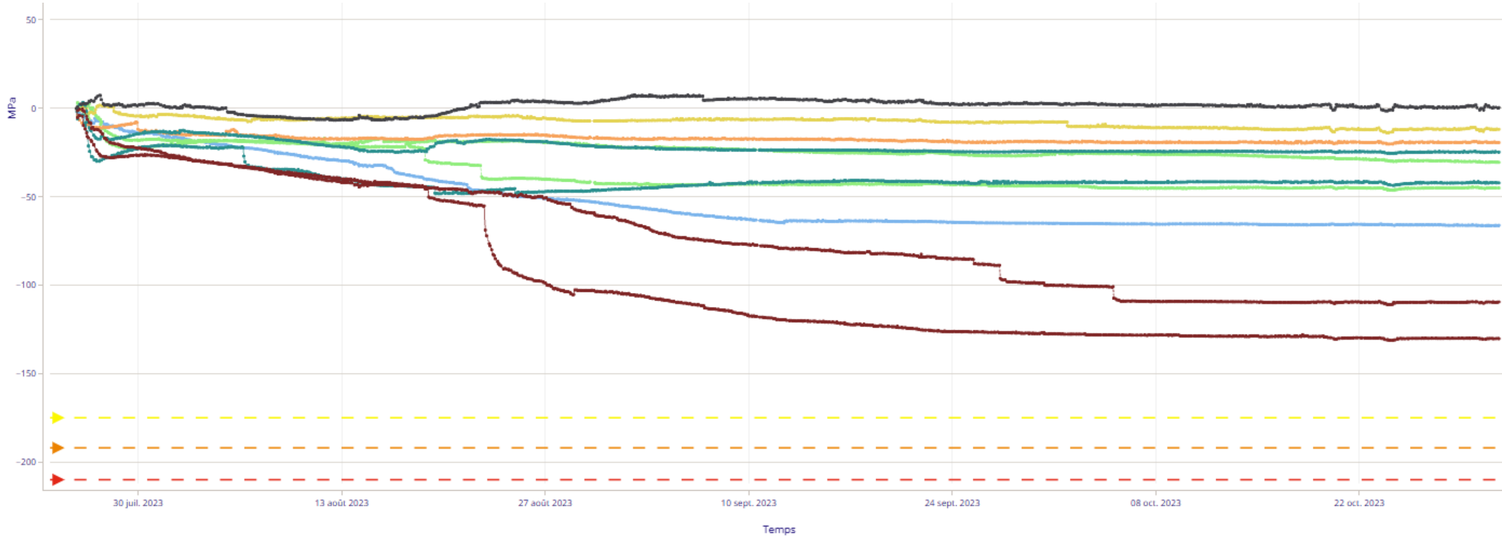
Extrusomètres automatiques
Mesures continues
Pas d'intervention au front
Récupération des mesures en Bluetooth



Mesures de contraintes dans le revêtement

Jauges de microdéformation



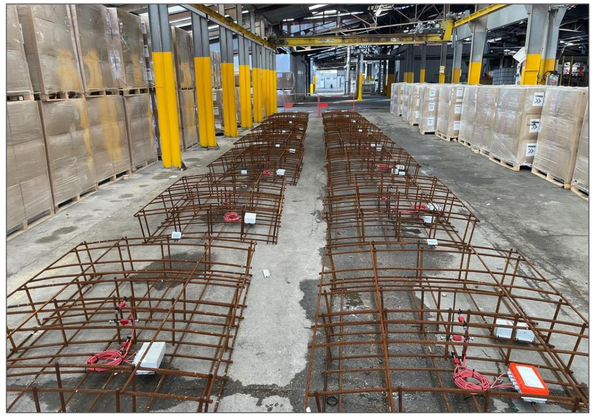


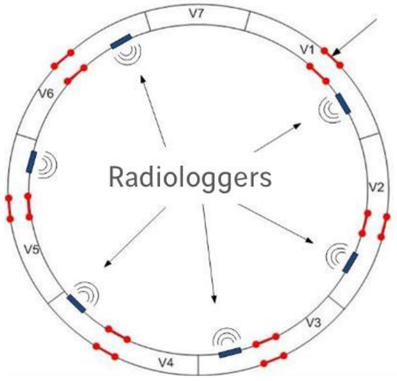
Mesures de contraintes dans le revêtement

Tunnel foré au tunnelier : Jauges dans les voussoirs

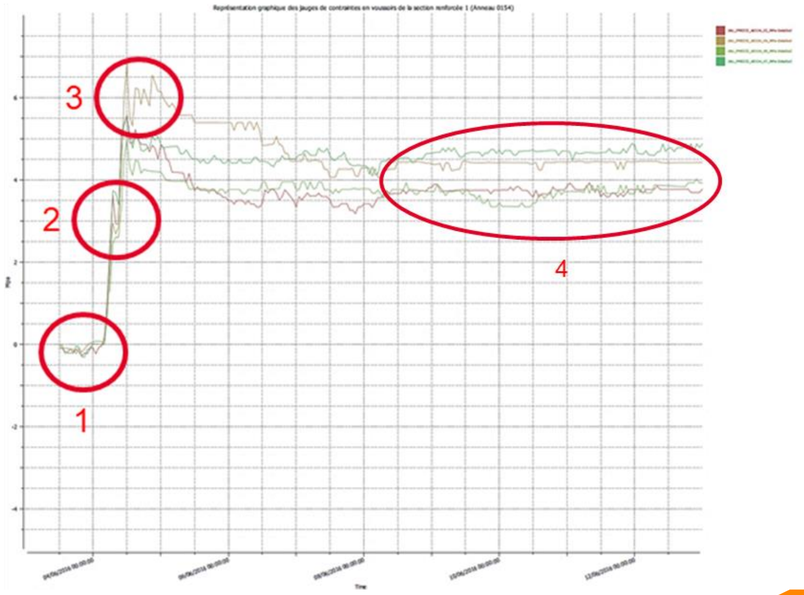
Une difficulté : Récupérer les informations juste après le passage du tunnelier

Solution « voussoirs intelligents »





1) No strain until the segment is installed.
2) Segment is in place, 3 Mpa.
3) Grouting pressure + TBM push, 5 to 6 Mpa.
(4) Stabilisation, around 4 Mpa.



Mesures de charges entre cintres

Charge en tête des boulons de soutènement
Prise de charge différée.

Charge en pied de cintre / entre éléments de cintre.

Autres mesures

- Débits d’exhaure
- Températures (surveillance circulations eau)
- Cellules de pression (interface voussoirs terrain ou entre soutènements)
- Inclinomètres
- Vibration
- Fissuromètres / capteurs de déplacement (coulissement des cintres déformables ou écrasement des blocs compressibles)

Récupération des données

Protection du matériel d’acquisition des données

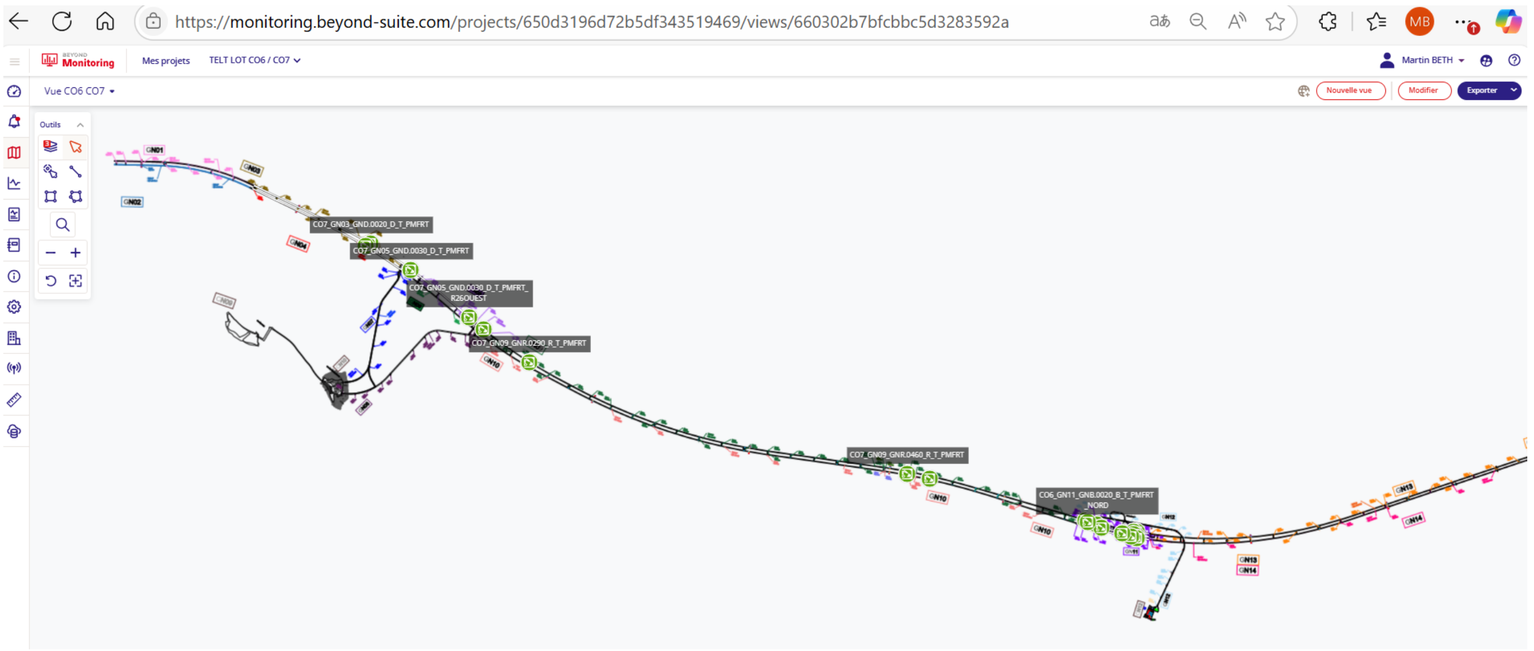
Partage et analyse des données

Base de données unique, yc mesures historiques des chantiers précédents.

Par exemple sur CO6 CO7 : Données depuis plus de 10 ans

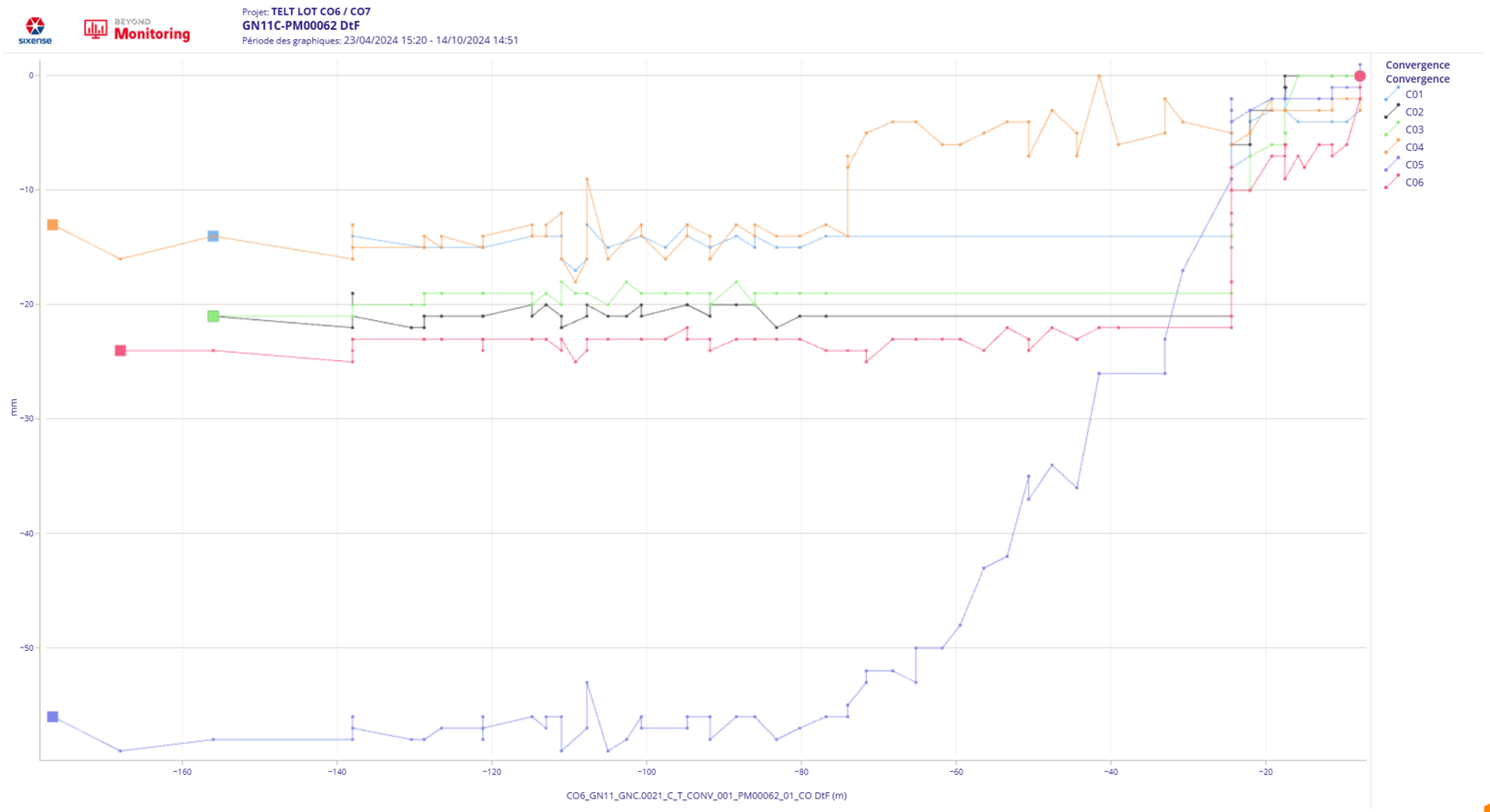
Plus de 8000 sections instrumentées

- Autres capteurs 5994
- Cellules de charge 372
- Cellules de pression 158
- Centrales de mesure 797
- Cibles 7777
- Excavation traditionnelle 71
- Extensomètres 399
- Fissuromètres 161
- Fissuromètres (lecture direct) 27
- Groupes de stations 9
- Inclinomètres manuel 3
- Jauges de déformation 2340
- Stations totales robotisées 9
- Thermomètres 22
- Vibrations 14



Partage et analyse des données

Graphiques « distance to face »



Titre de la page
Calibri gras corps 60pts

Sous-titre - calibri gras corps 40pts

Corps de texte standard
calibri standard et gras corps 27 pts

- La puce CFMS est enregistrée dans les puces et listes
- Les couleurs utilisées sont principalement le **bleu** et le **orange** du logo CFMS et du **gris.**
- La typographie utilisée dans l'ensemble du document est le CALIBRI standard et **gras**

Vous pouvez bien sûr mettre le LOGO intervenant dans le masque pour l'appliquer sur toutes les diapositives (ou dupliquer les