



INSTITUT FÜR
INGENIEURGEODÄSIE UND MESSSYSTEME



INSTITUT FÜR
BODENMECHANIK UND GRUNDBAU



KELLER

Projet de recherche Li:NAFoS

Aperçu du comportement porteur de tirants câbles

Léo QUIRIN

JOURNEE TA 2020, 06.02.2020



Fibre optique

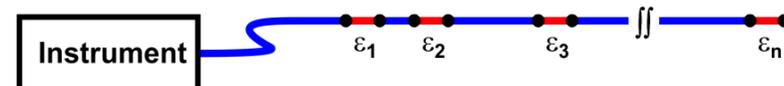
Capteurs optiques à fibre optique

La fibre optique est à la fois un câble de transmission de données et un élément sensible

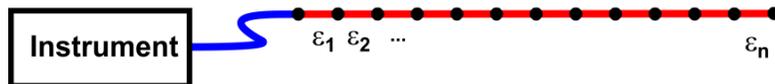
Punktweise Messverfahren



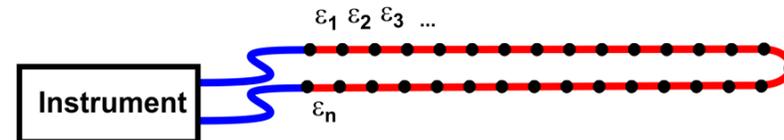
Quasiverteilte Messverfahren



Verteilte Messverfahren: Einseitig



Verteilte Messverfahren: Schleife

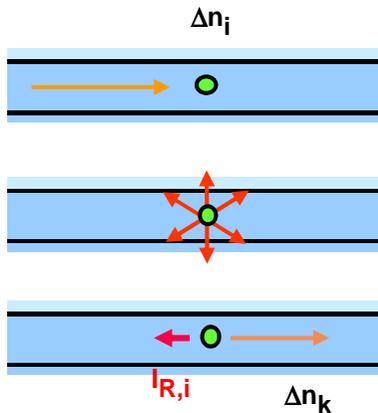


Exemple:

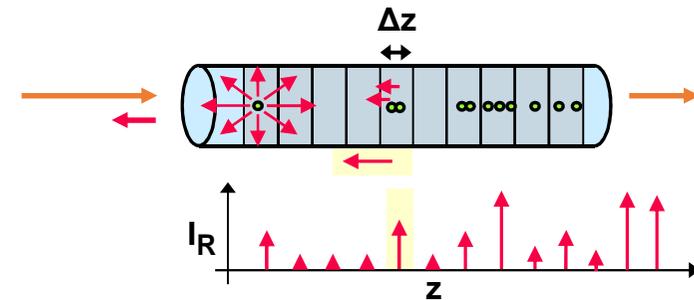
Résolution de 50 cm, longueur de mesure 10 km x 1 mesure donne 20.000 lectures

Résolution de 1 cm, longueur de mesure 70 m x 1 mesure donne 7 000 lectures

RÉFLECTOMÈTRE OPTIQUE À RÉTRODIFFUSION

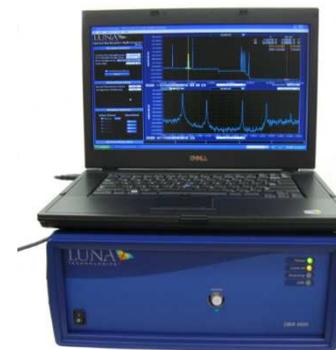


- Division en segments de fibre de longueur Δz

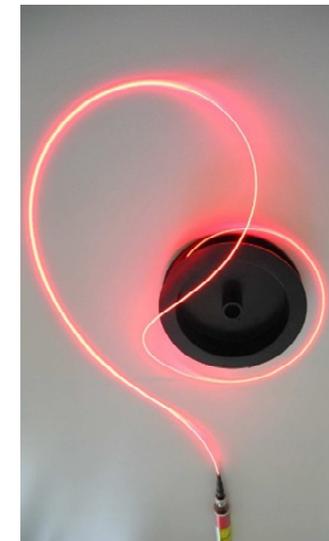


- $I_R = I_R(z)$,
modèle unique (« empreinte digitale »)

- Longueur: 70 m
- Résolution de localisation: ≤ 10 mm
- Précision: 1 $\mu\text{m}/\text{m}$ bzw. 0.1 K
- Fréquence: ≈ 0.1 Hz



Luna Inc., 2014



Instrumentation en fibre optique

Capteur optique de fibre : Type #02

Fibre de verre dans des tubes en acier
et gaine en plastique

Surface structurée



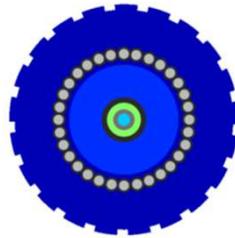
3.2 mm

Capteur optique de fibre : Type #03

Fibre de verre dans les tubes en acier et gaine en plastique

Tresse en acier supplémentaire

Surface structurée



7.2 mm

Capteur optique de fibre : Type #04

Capteur de température

Fibre de verre lâche dans des tubes en acier



3.8 mm



Expériences menées

1. Bac de stockage de Keller Grundbau, Sâding près de Graz, Autriche
2. Expériences avec des tirants à plusieurs étages

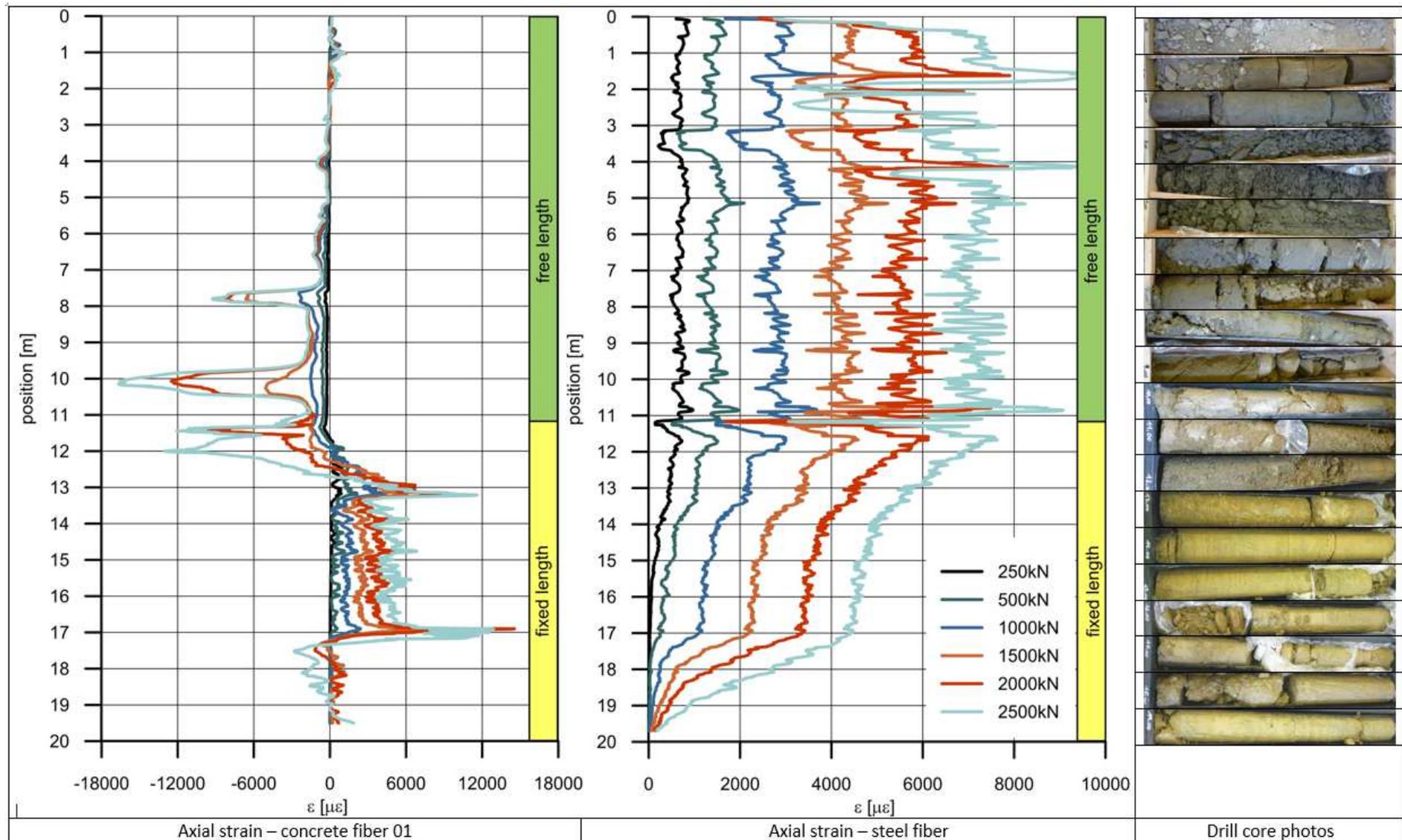
} Keller Grundbau

3. Sols à grain fin - St. Kanzian at Lake Klopein, Autriche
4. Roche - Mur d'ancrage A10, test sur l'ancre du système - mesures continues
5. Sols à grain grossier - City Tower, Ljubljana, Slovénie

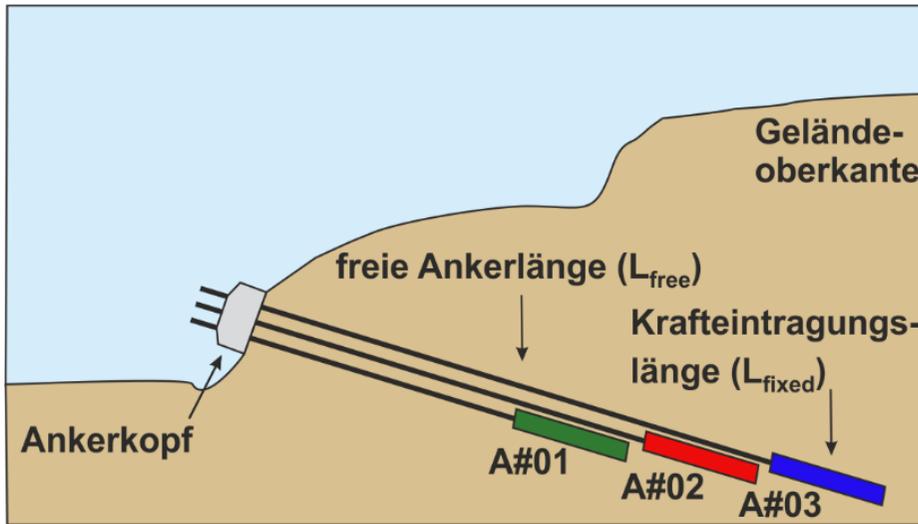
} Projet de recherche
LiNaFOS

Test d'arrachement d'ancrage avec détection optique, 09/2015 Sâding, Autriche

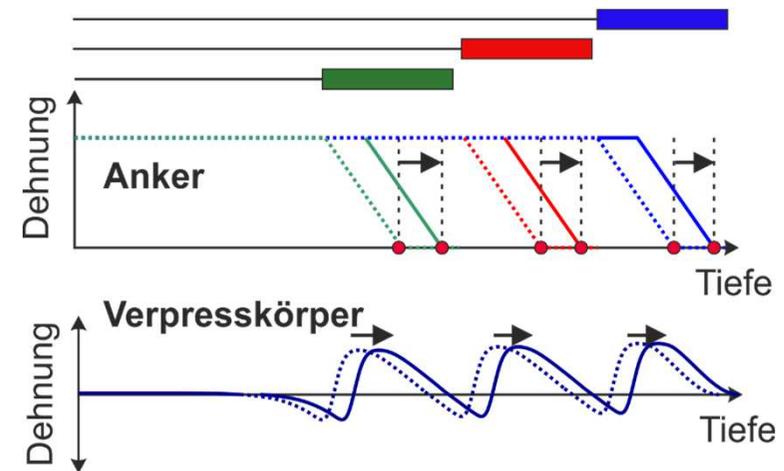
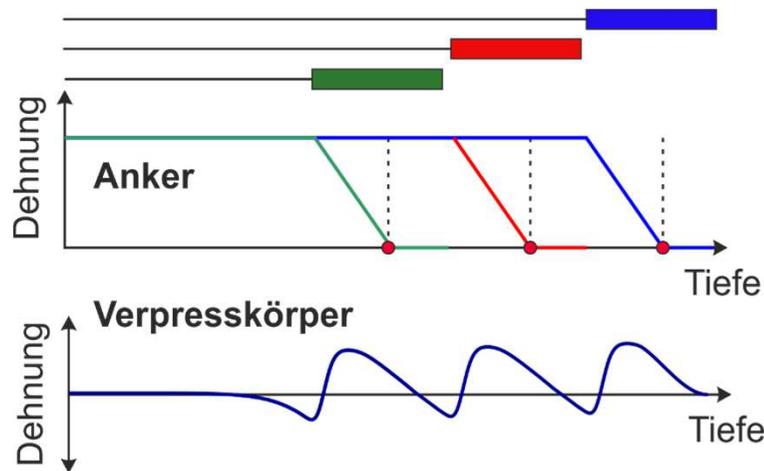




Tirants à plusieurs étages



A2 (Wien-Graz): Degendamm



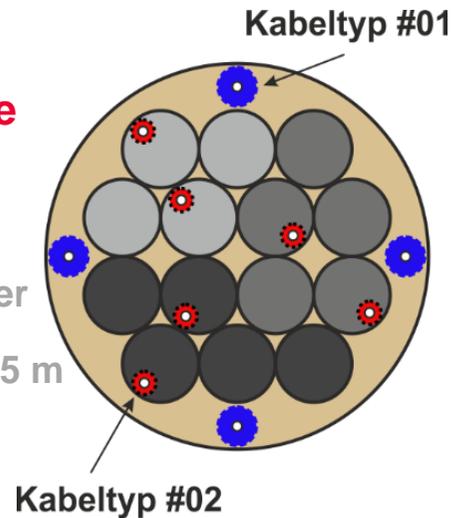
Instrumentation et installation directement sur place

Instrumentation par fibre optique

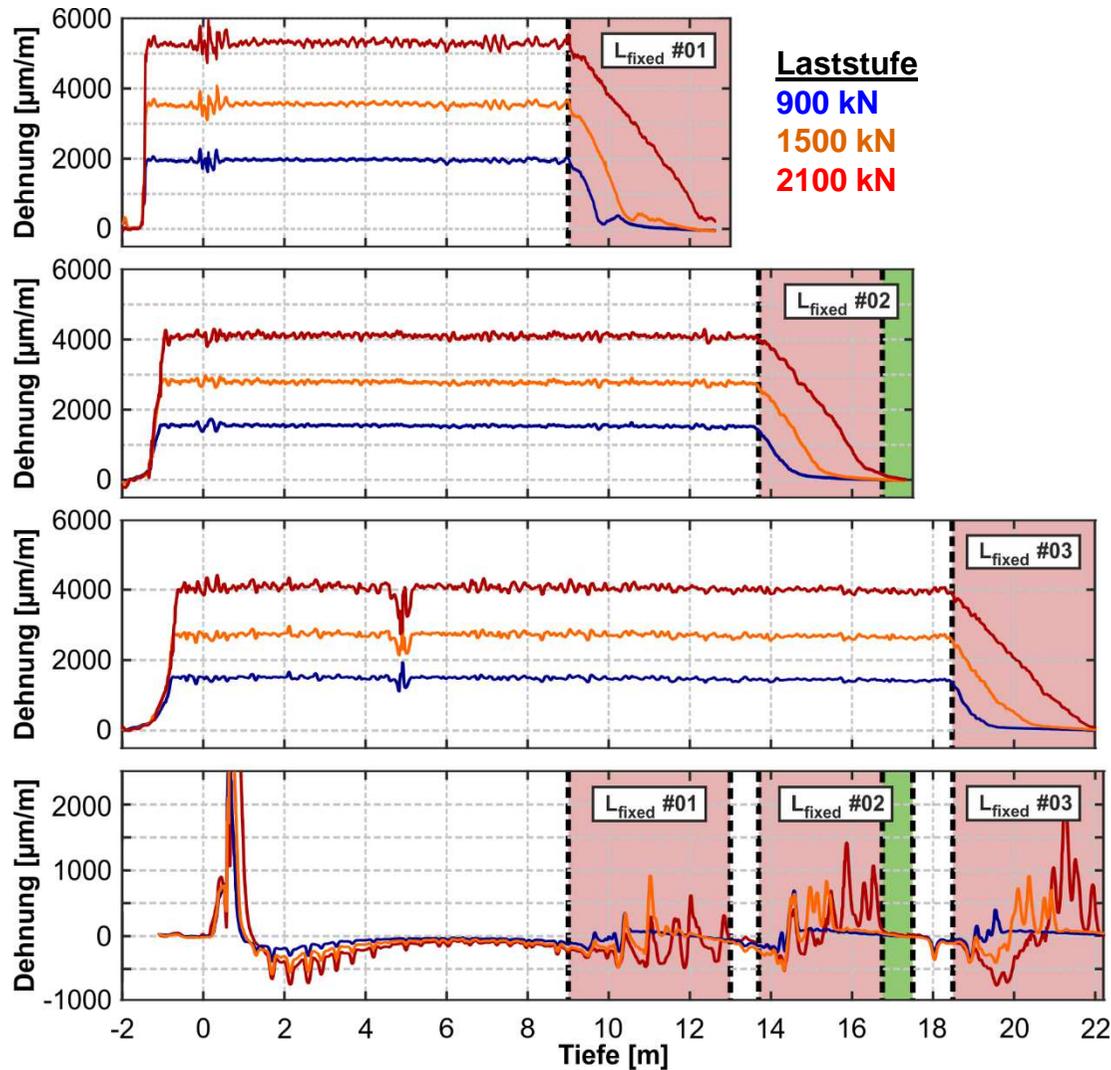
Surveillance des brins d'acier et du coulis

Installation directement sur le chantier

Longueurs d'ancrage allant jusqu'à 25 m



Résultats



Surveillance

Transfert de charge des torons en acier au coulis

Activation progressive du coulis

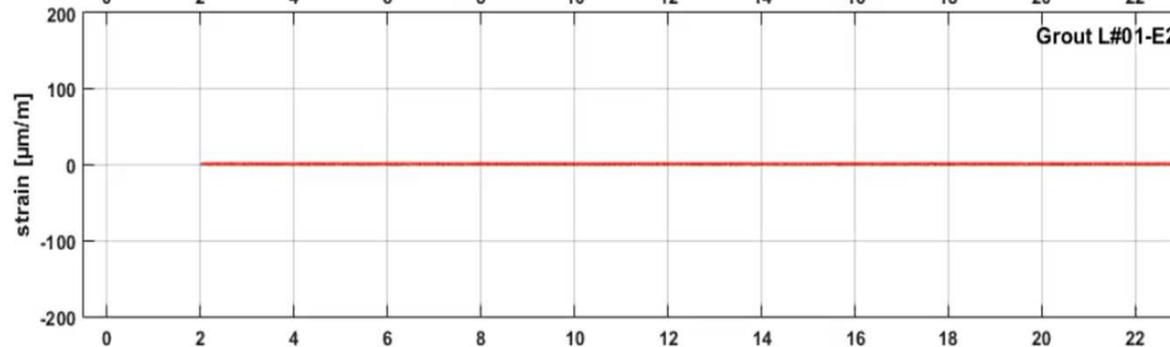
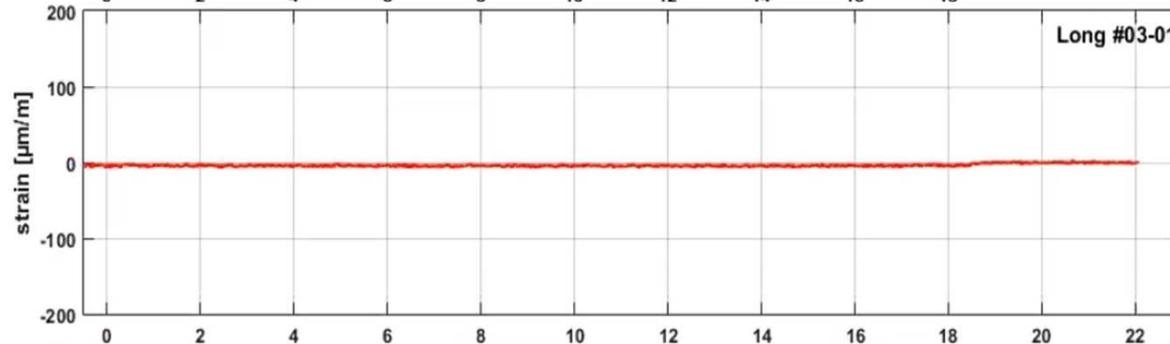
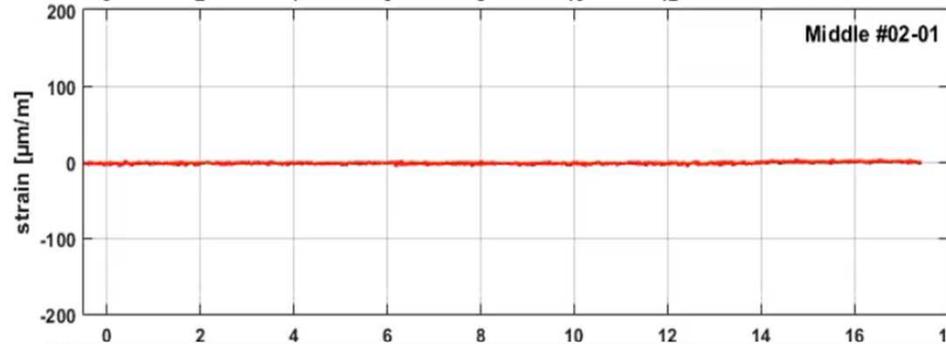
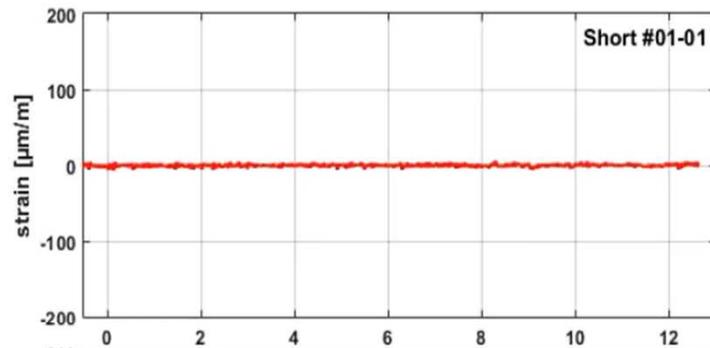
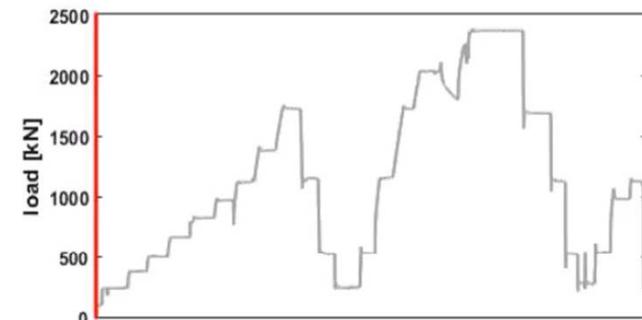
Niveau de charge maximum: pas d'activation complète de l'ancrage central # 02

Anchor Pull Out Test

Test Anchor #3

2016

ID	force [kN]	time [min]	Δ #1 [mm]	Δ #2 [mm]	Δ #3 [mm]
01	150				
02	300				
03	450				
04	600				
05	750				
06	900				
07	1050				
08	1200				
09	1500				
10	1800				
11	2100				
12	2400				



Li: NaFos:
Autoroute A10 Tauern, km 50.6 - 50.9: Mur d'ancrage

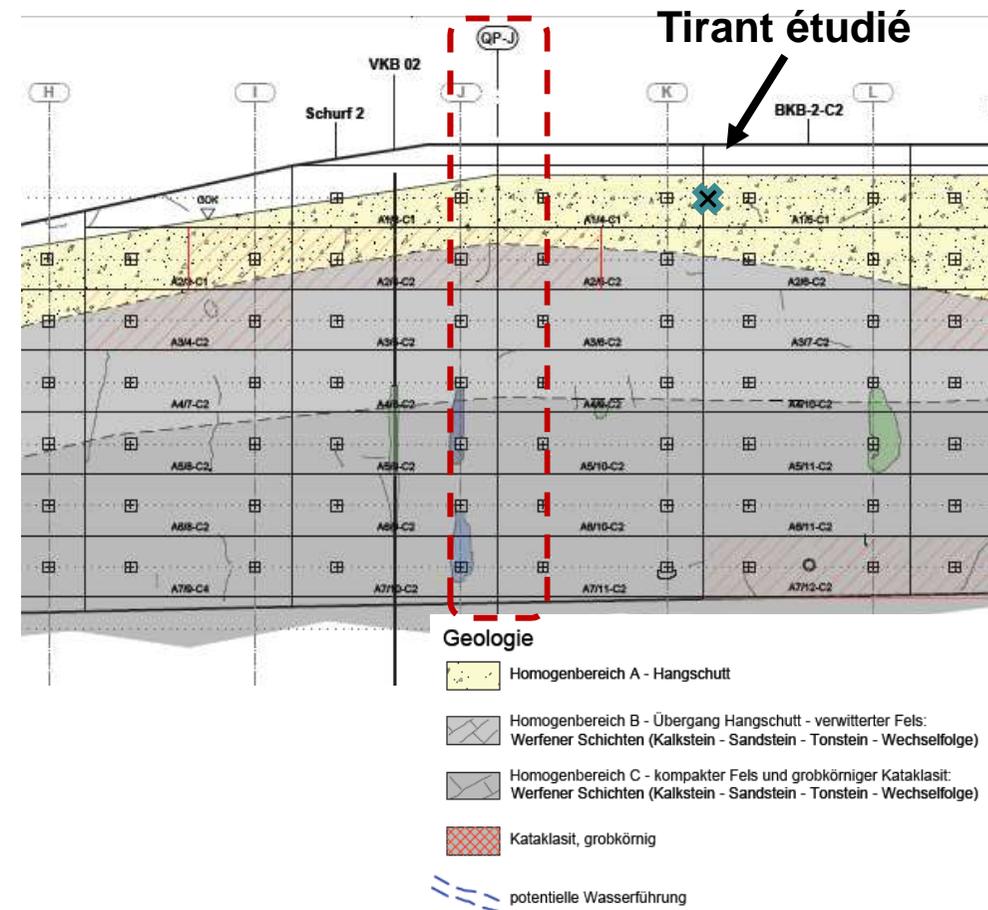
Essais de traction -
Résultats des mesures FOS



CARACTÉRISATION DE LA ZONE ET DESCRIPTION DU TIRANT



Section



Contenu | Description de la zone et de l'ancre | Activités | Résultats in situ | Simulations numériques | Comparaison

CARACTÉRISATION DE LA ZONE ET DESCRIPTION DE L'ANCRAGE

Beispielfoto VKB02

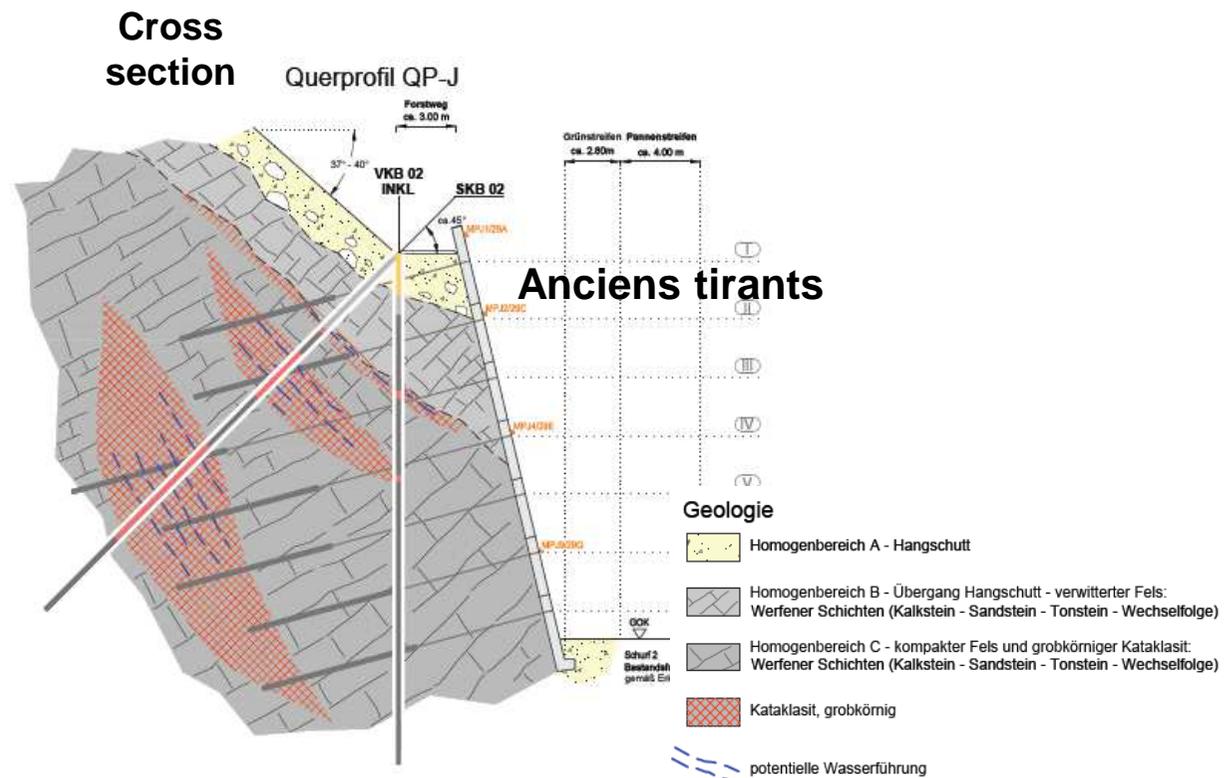
Homogenbereich A Hangschutt (0 - 2 m)



Homogenbereich B Übergang Hangschutt - verwitterter Fels (2 - 5 m)



Homogenbereich C kompakter Fels und grobkörniger Kataklasit (6 - 8 m)



Situation

Ancrage

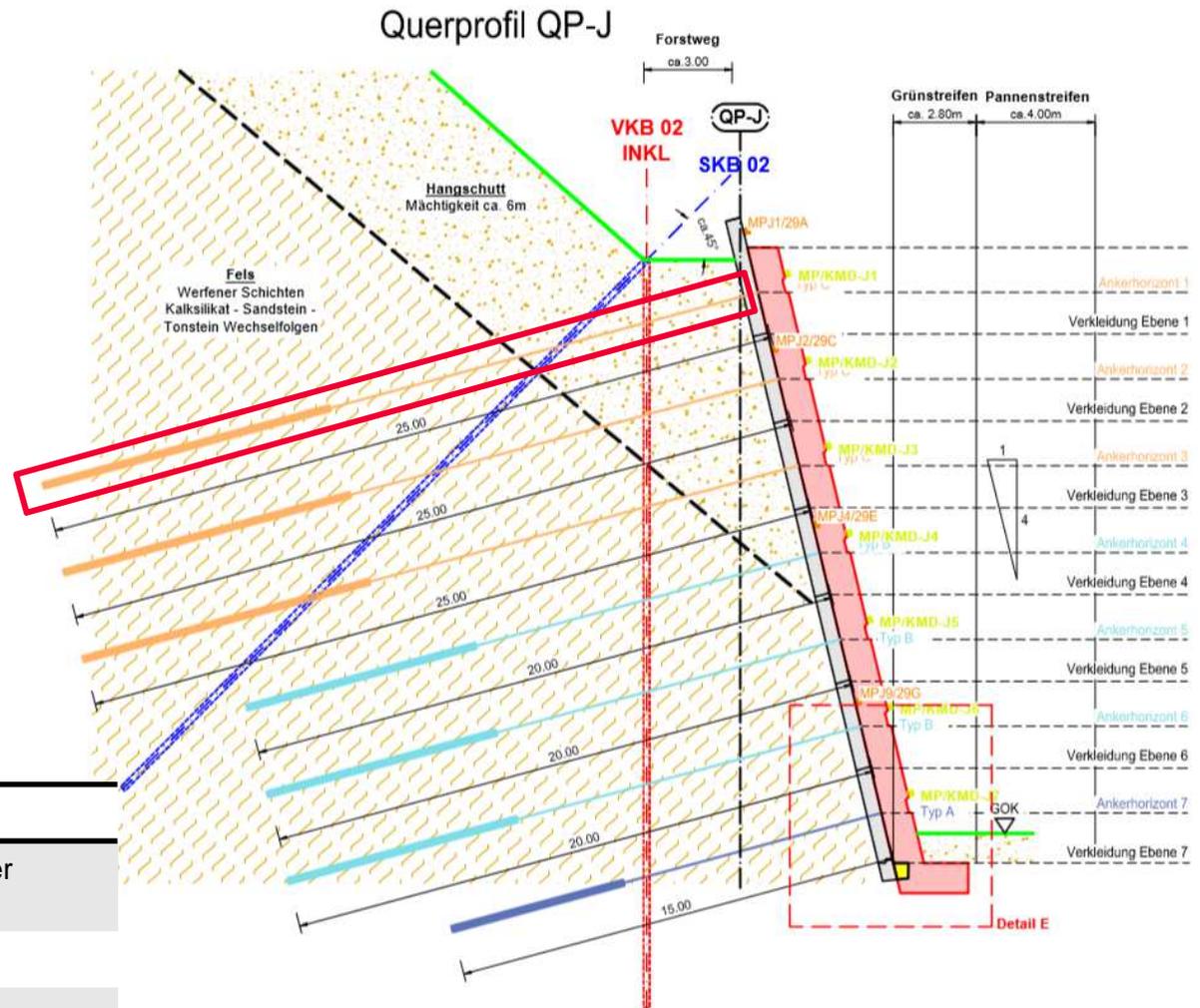
8 brins (φ 15,7 mm)

Longueur de toron: 26,94 m

Sous terre : 25,59 m

Espacement : 1,35 m

Longueur d'ancrage : ~ 9,80 m



Datum	Tätigkeit
19.06.2018-21.06.2018	Instrumentierung der Litzen
02.07.2018-03.07.2018	Ankereinbau
18.07.2018-19.07.2018	Ausziehversuch

Brins graissés



Instrumentation fibre optique

Type # 02, type # 03 et type # 04

Instrumentation sur site

Fibre optique à l'extérieur du tube à ailettes

Fixation avec du ruban adhésif



Installation



Essai

Installation

- 03.07.2018



Essai

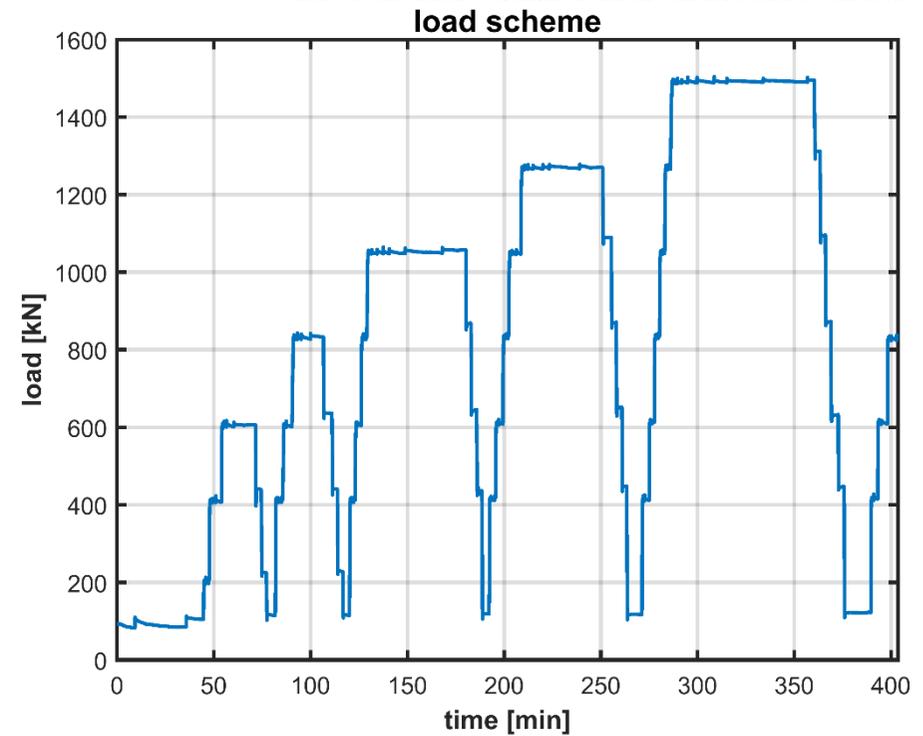
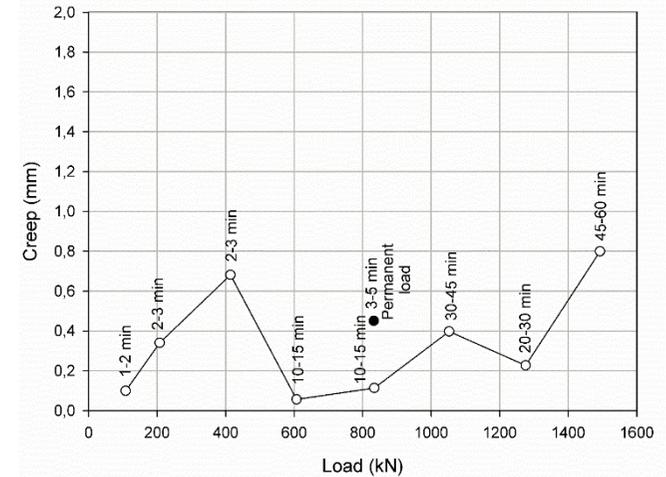
- 19.07.2018



Essai

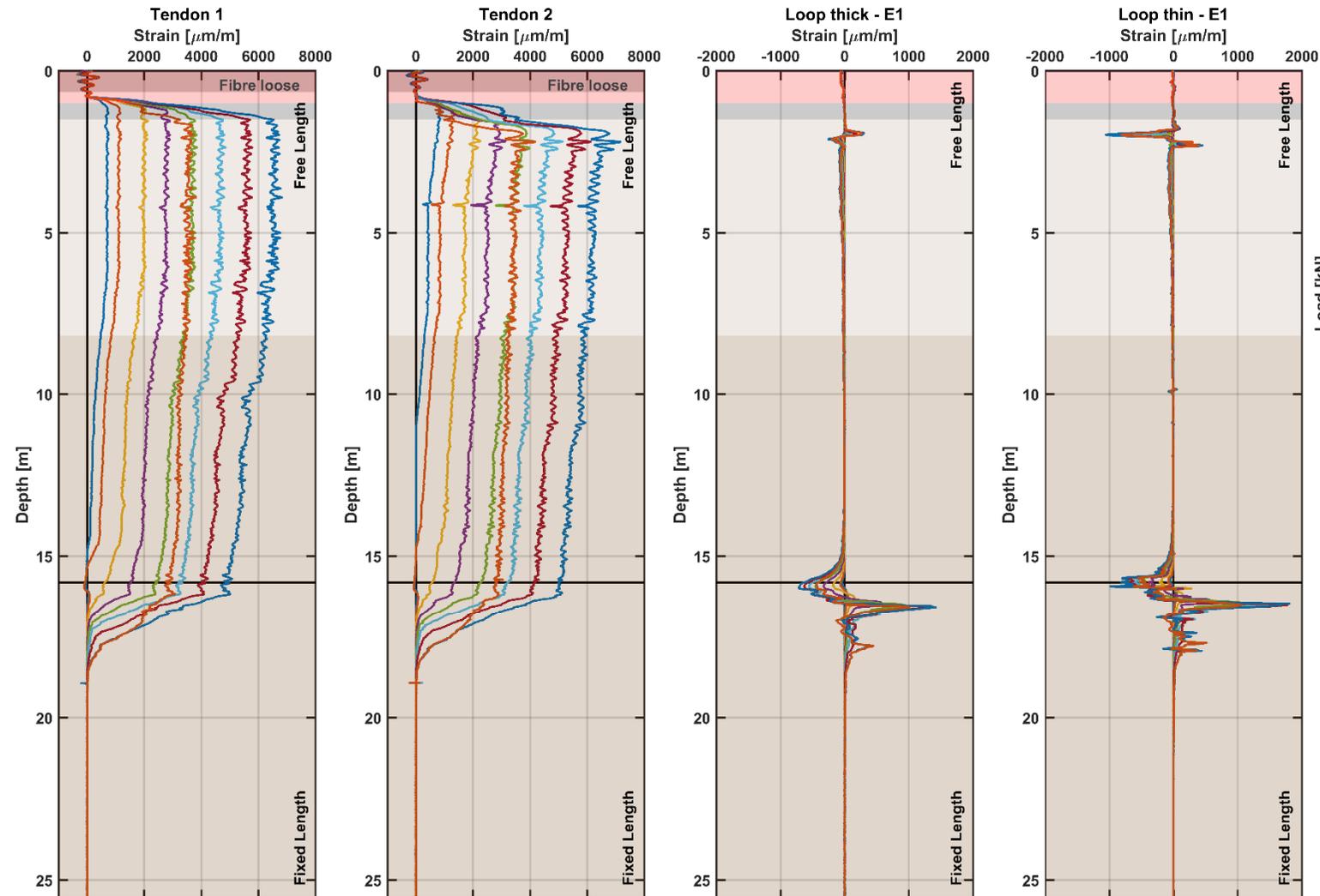
Chargement

- Chargement et déchargement par étapes de 200 kN jusqu'à 1485 kN
- Enfin, charger le tirant à 810 kN



Résultats (Ref. = 0 kN)

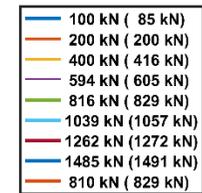
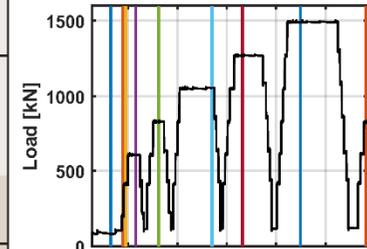
Link Matlab-Figure



Anchor project - LINFOS

Egger Anchor Wall - 2018

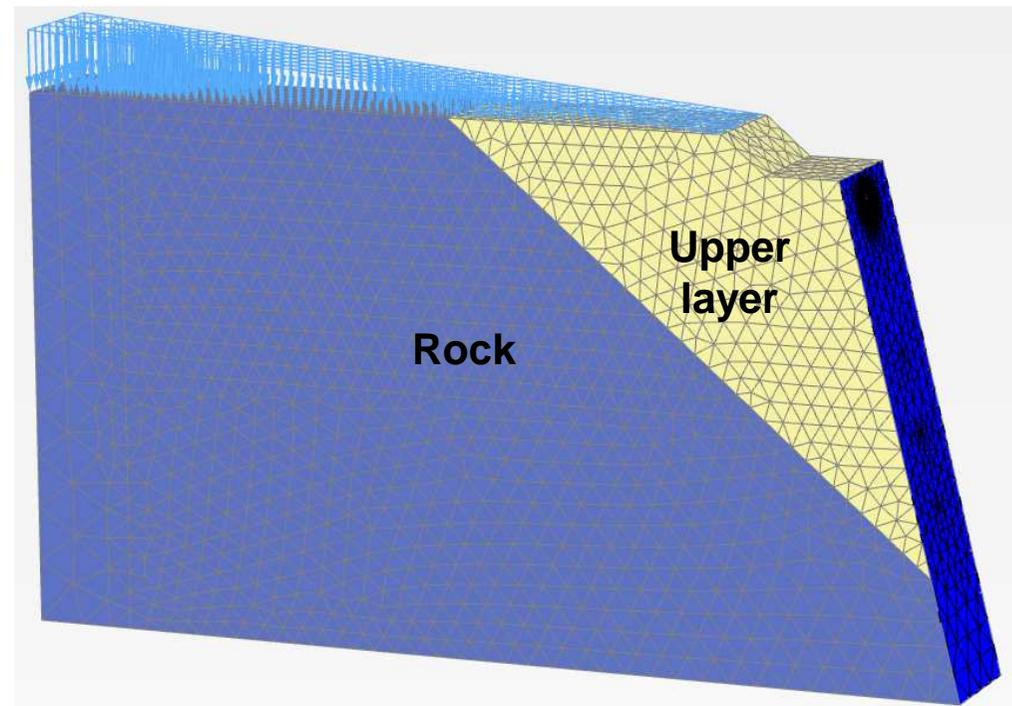
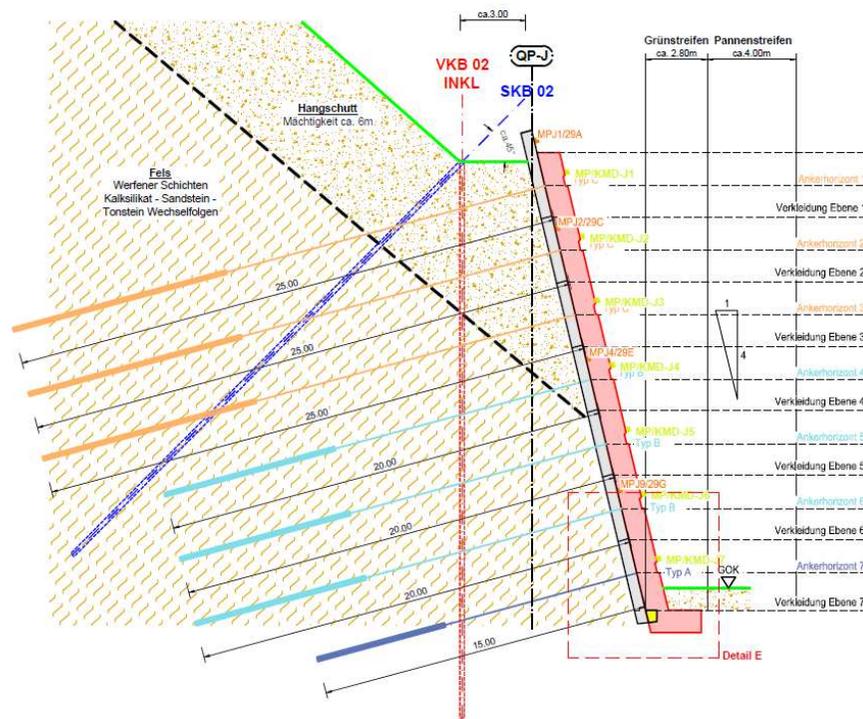
A10 - Salzburg



Contenu | Description de la zone et de l'ancre | Activités | Résultats in situ | Simulations numériques | Comparaison

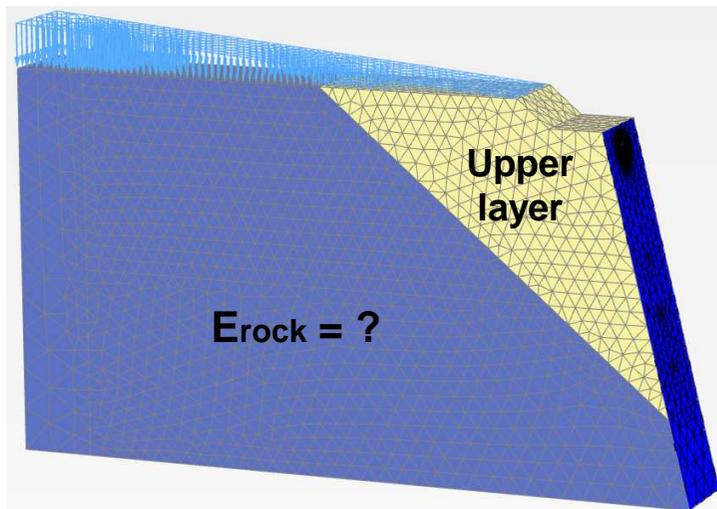
NUMERICAL SIMULATION

Numerical model – Plaxis 3D 2017



NUMERICAL SIMULATION

Numerical model – Plaxis 3D 2017



Recommended parameters (Geotechnical Report):

Material	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	E (MPa)
Upper layer	21	35	0	70
Rock	24	40	40	150-500

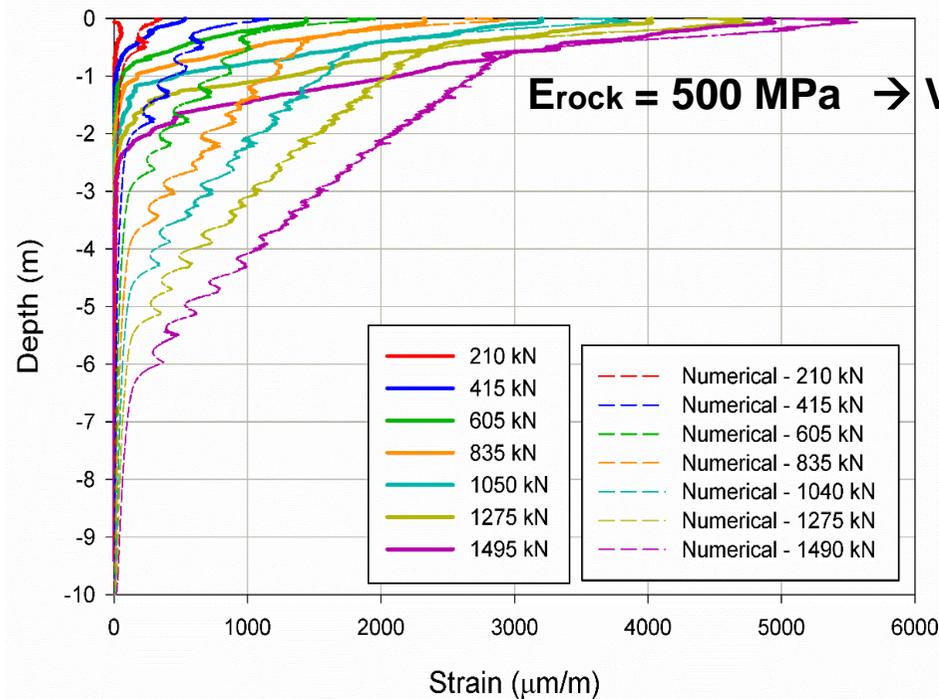
↓
Too conservative

UCS: 50 to 75 MPa

Comment l'activation du tirant est-elle affectée par la rigidité de la roche?

COMPARAISON - RÉSULTATS IN SITU VS NUMÉRIQUES

Strains tendon – fixed length



$E_{\text{rock}} = 500 \text{ MPa}$ → Valeur suggérée dans le rapport géotechnique

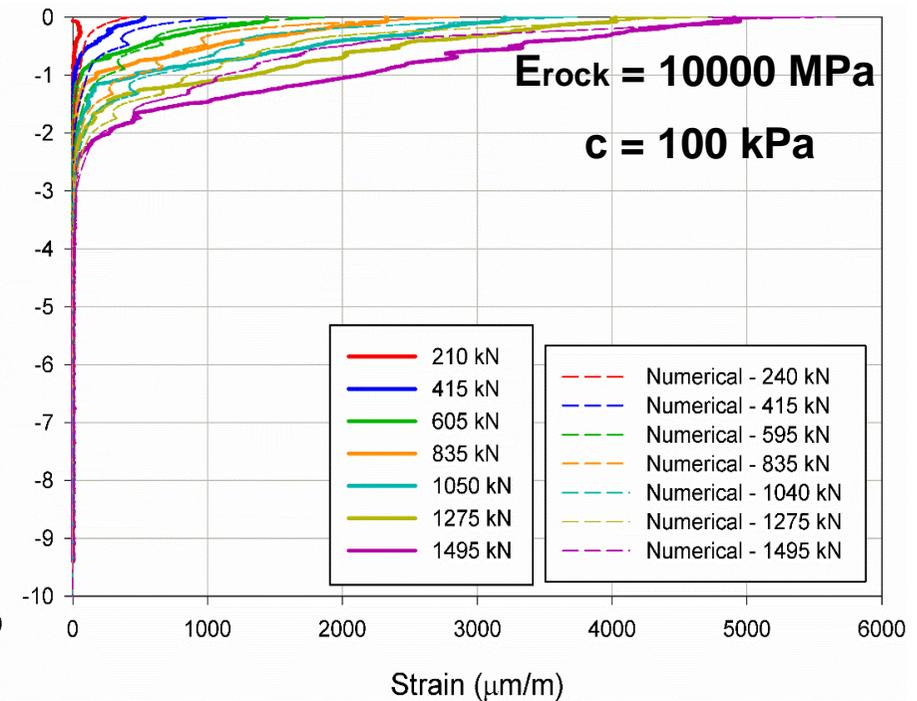
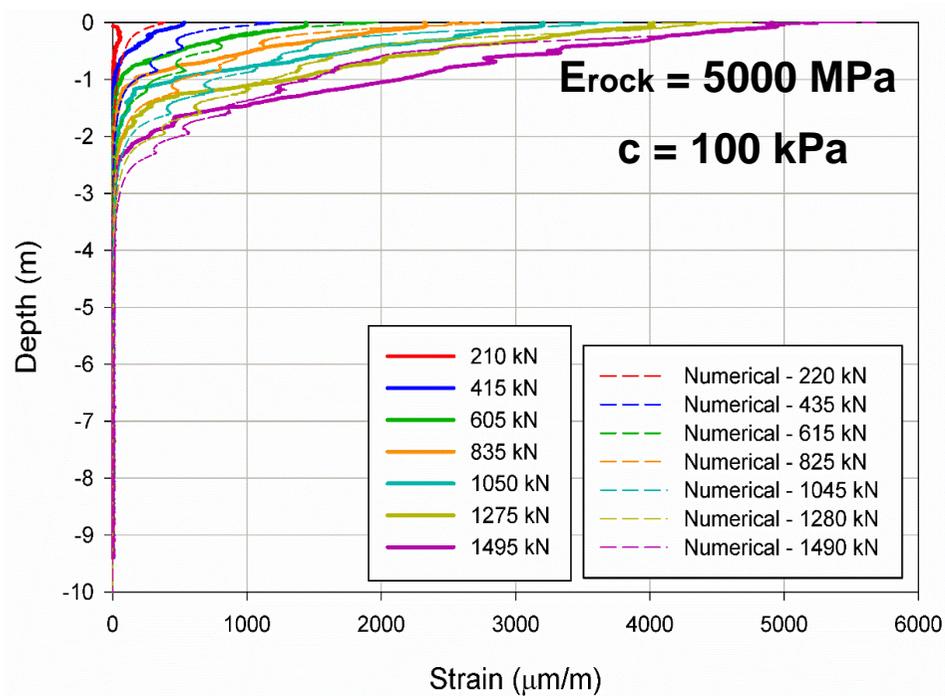


trop mou

Contenu | Description de la zone et de l'ancre | Activités | Résultats in situ | Simulations numériques | Comparaison

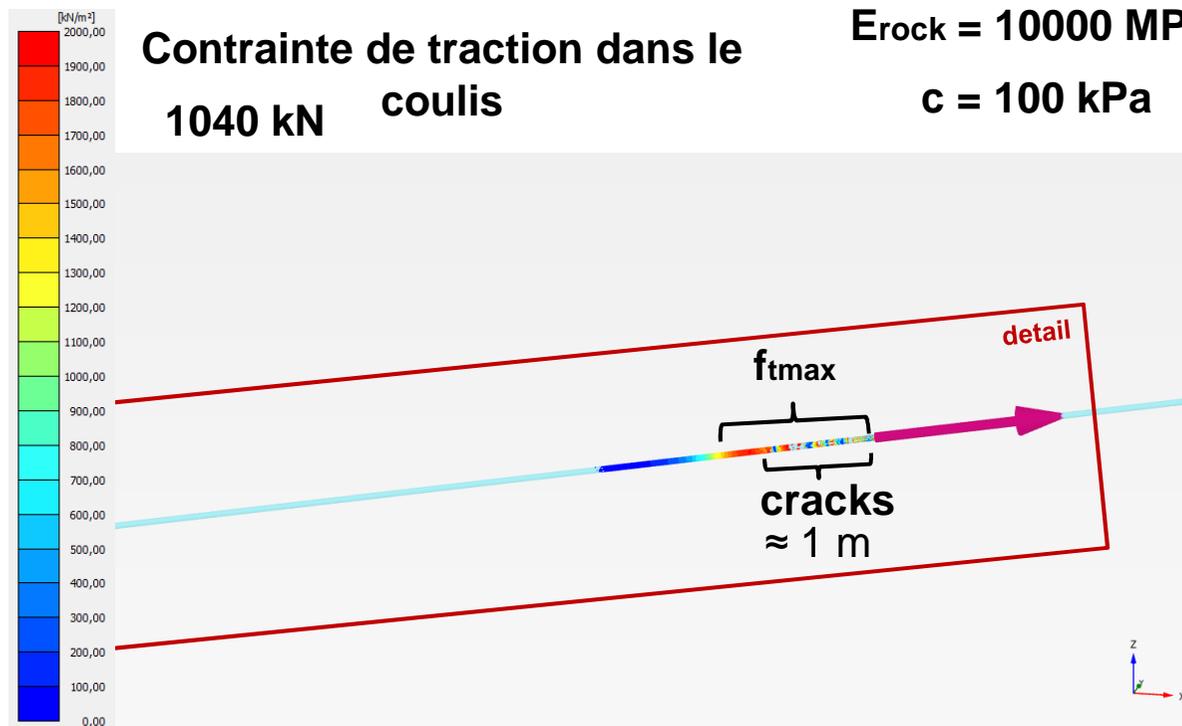
COMPARAISON - RÉSULTATS IN SITU VS NUMÉRIQUES

Strains tendon – fixed length

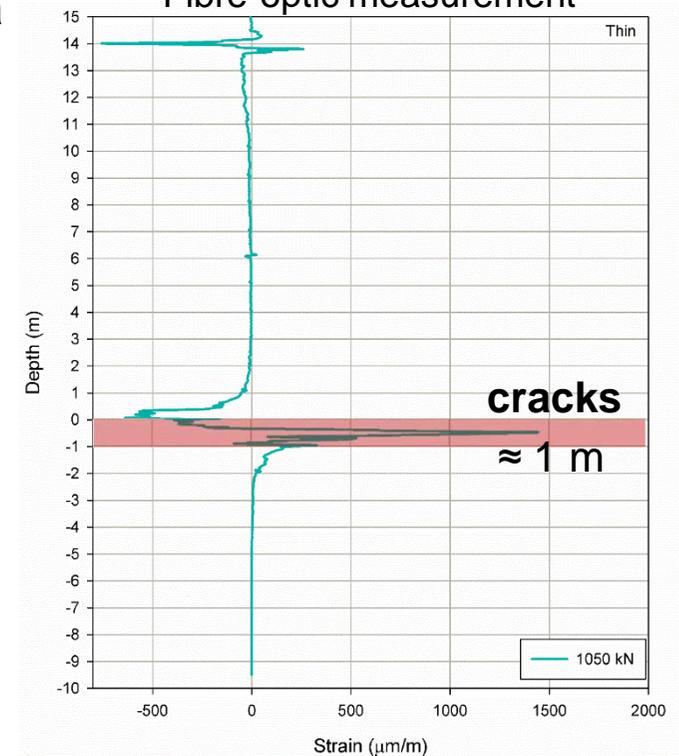


Contenu | Description de la zone et de l'ancre | Activités | Résultats in situ | Simulations numériques | Comparaison

COMPARAISON - RÉSULTATS IN SITU VS NUMÉRIQUES

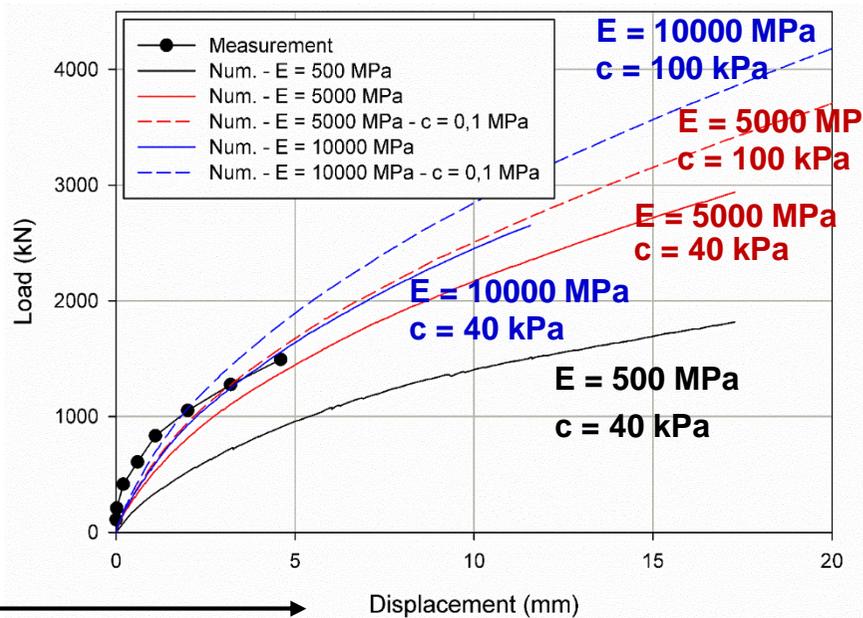


Strain distribution - grout
Fibre-optic measurement



COMPARAISON - RÉSULTATS IN SITU VS NUMÉRIQUES

Load-displacement curves



If $E_{rock} = 500 \text{ MPa}$ (suggested value) → too soft

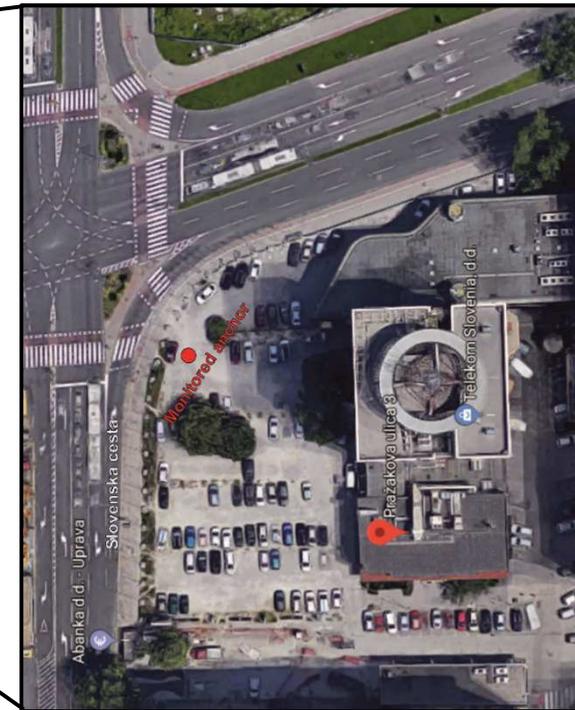
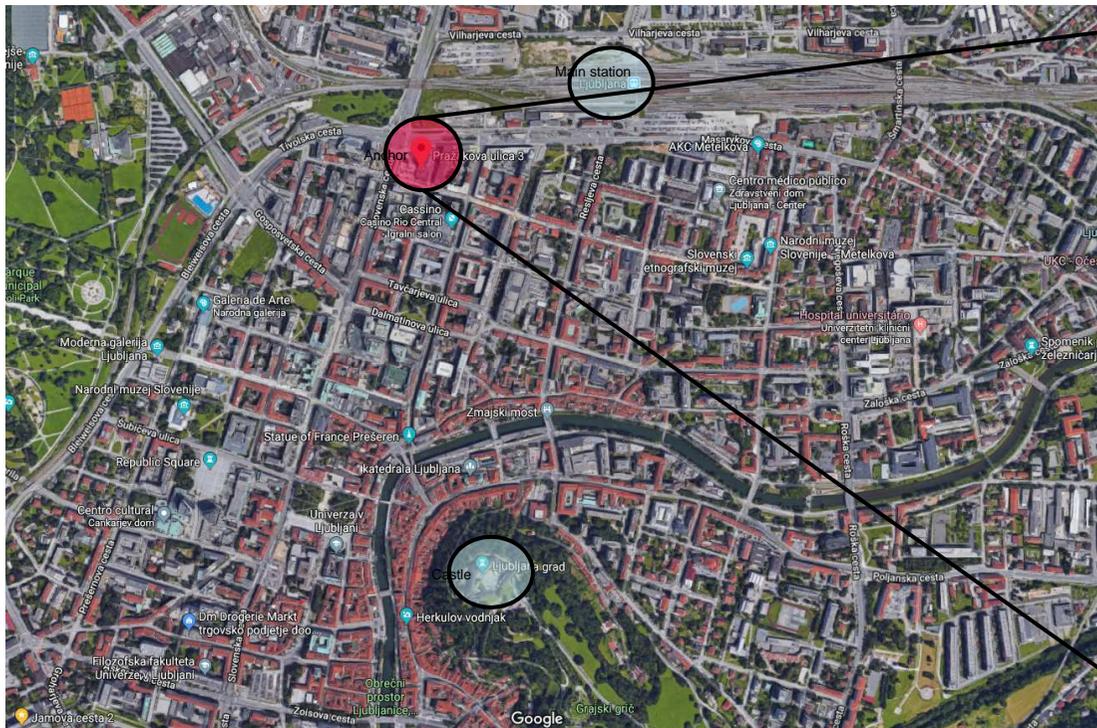
Best fit: $E_{rock} = 5000 \text{ MPa}$ and 10000 MPa



Small difference between $E_{rock} = 5000 \text{ MPa}$ and 10000 MPa

PULL-OUT TEST: LJUBLJANA

- Construction d'un hôtel de 80 m de hauteur (A-Tower Ljubljana)



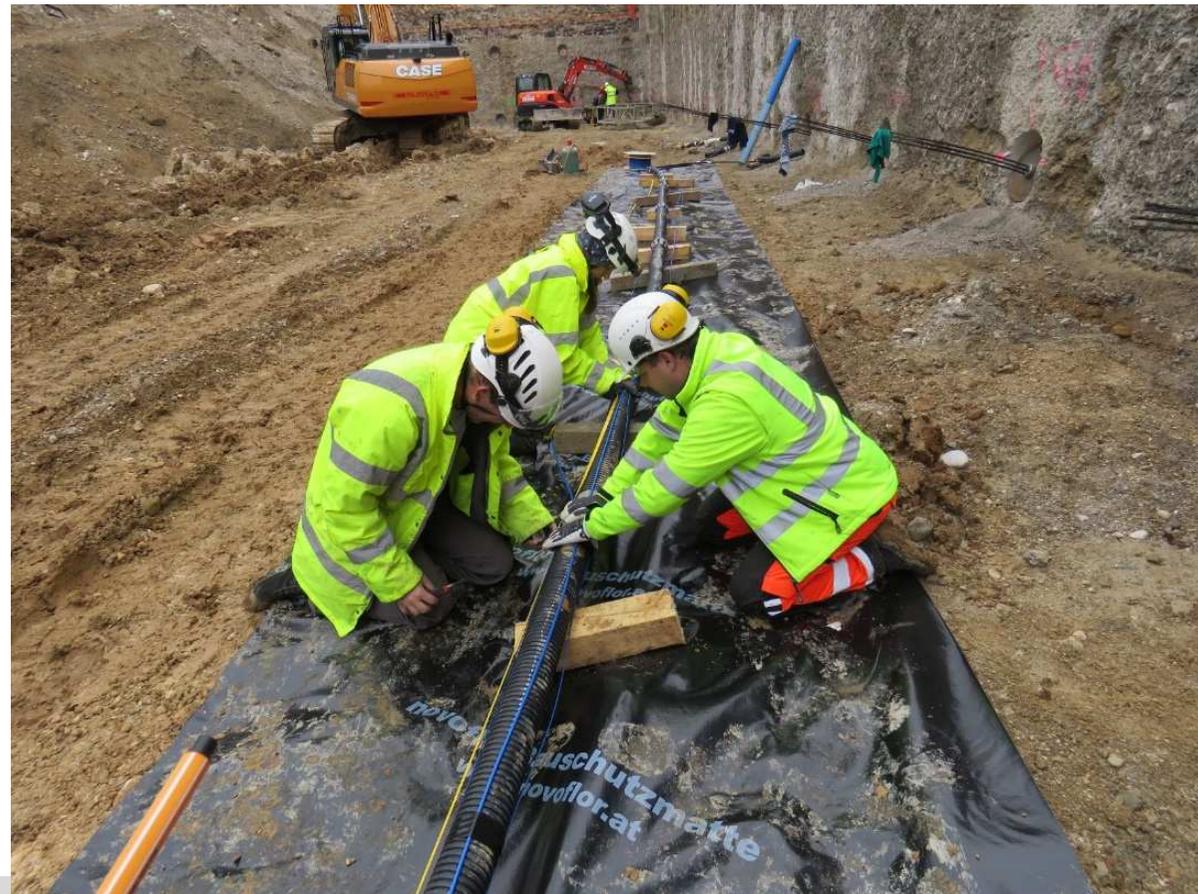
PULL-OUT TEST: LJUBLJANA

- Construction d'un hôtel de 80 m de haut (A-Tower Ljubljana)
- Profondeur totale d'excavation : 17 m
- Des colonnes de Jet Grouting et des ancrages temporaires ont été utilisées



PULL-OUT TEST: LJUBLJANA

- Monitored anchor
- 2 strands were monitored



PULL-OUT TEST: LJUBLJANA

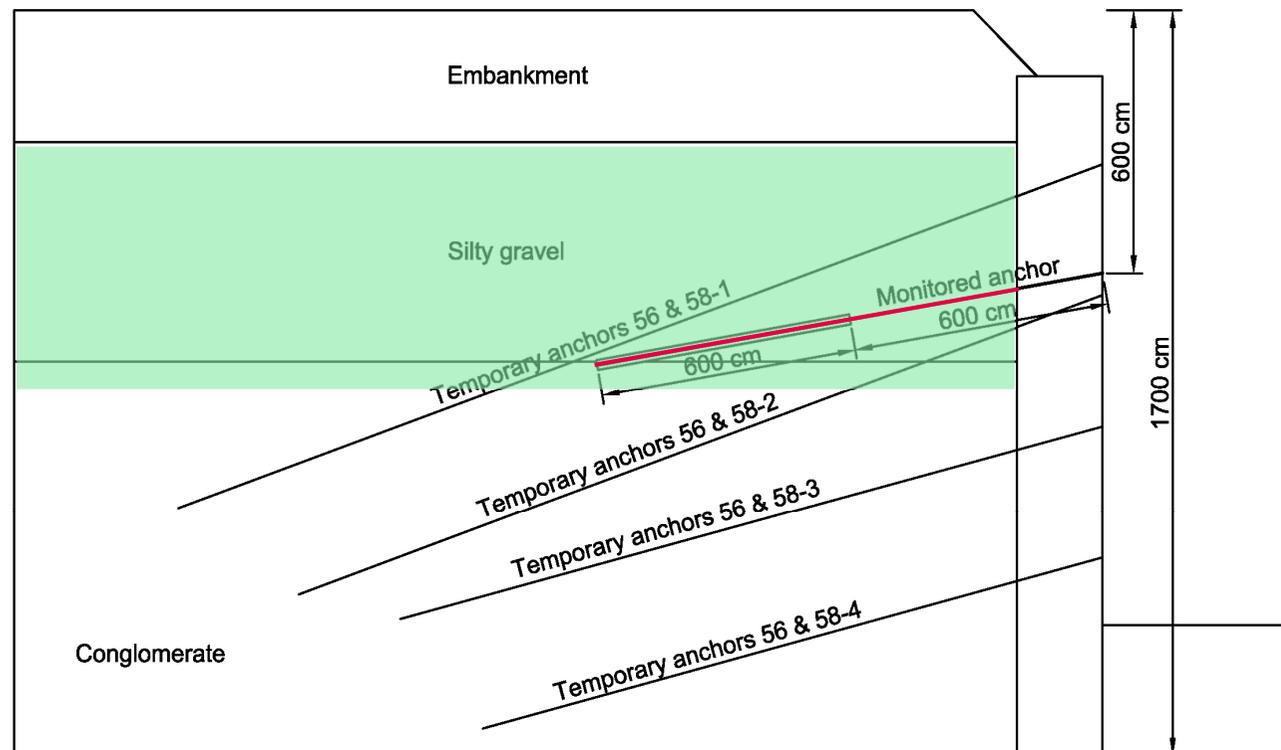
Free length: 6 m

Fixed length: 6 m

8 strands (8x15.7mm, steel Y1860)

Φborehole = 200 mm

Date	Activity
17.01.2019	Installation of the fibres (tendon)
11.02.2019	Installation of the fibres (grout) and anchor installation
26.02.2019	Laboratory test (cement probes)
28.02.2019	Pull-out test



PULL-OUT TEST: LJUBLJANA



Anker fixed length

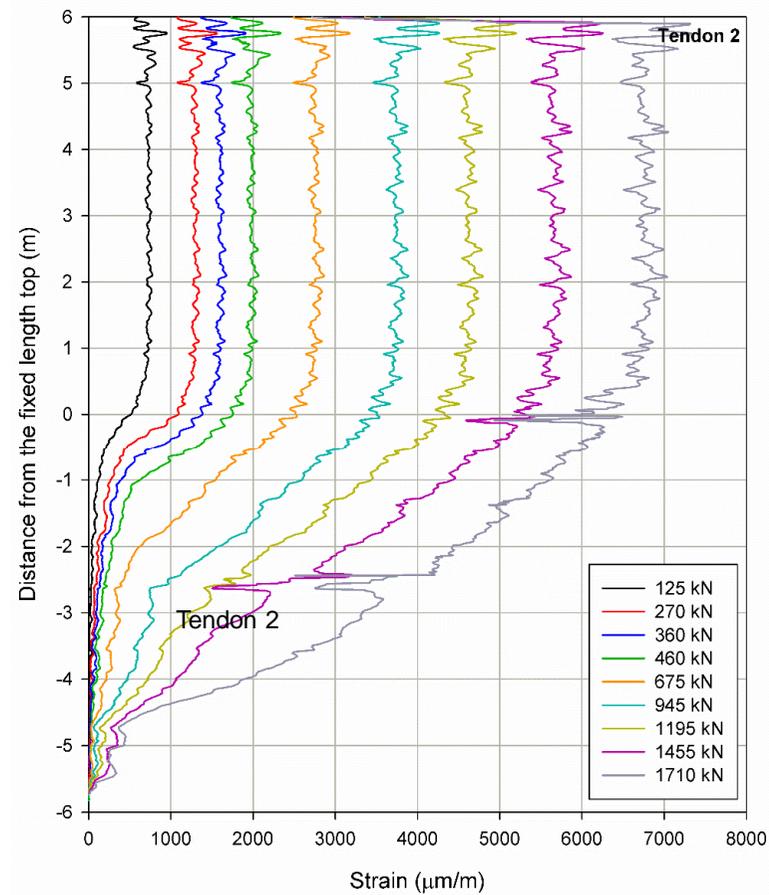
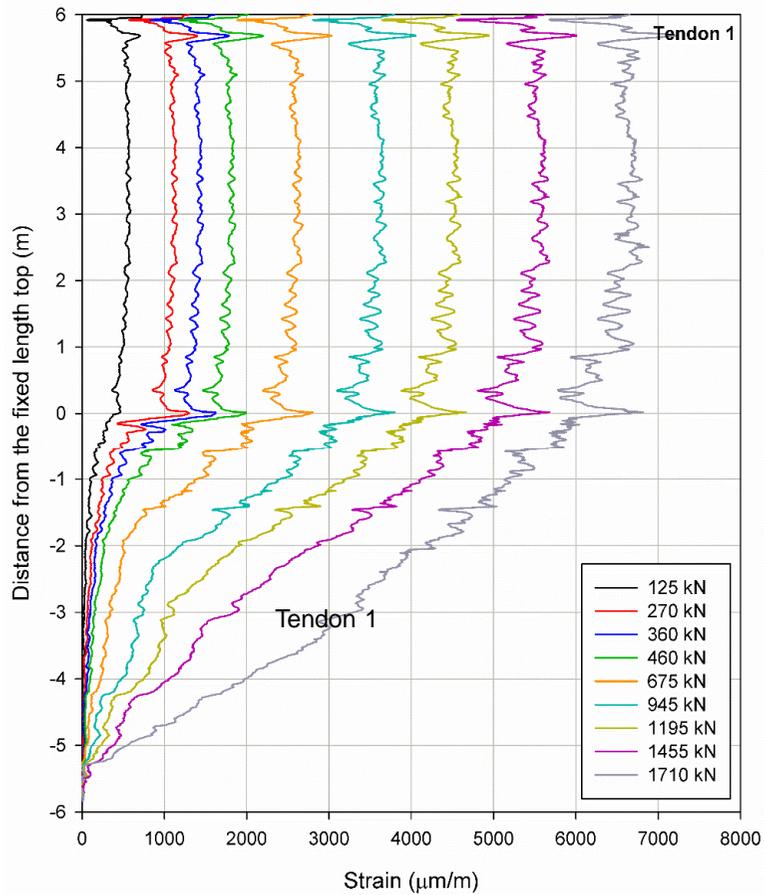
PULL-OUT TEST: LJUBLJANA

- Pull-out test: in-situ results



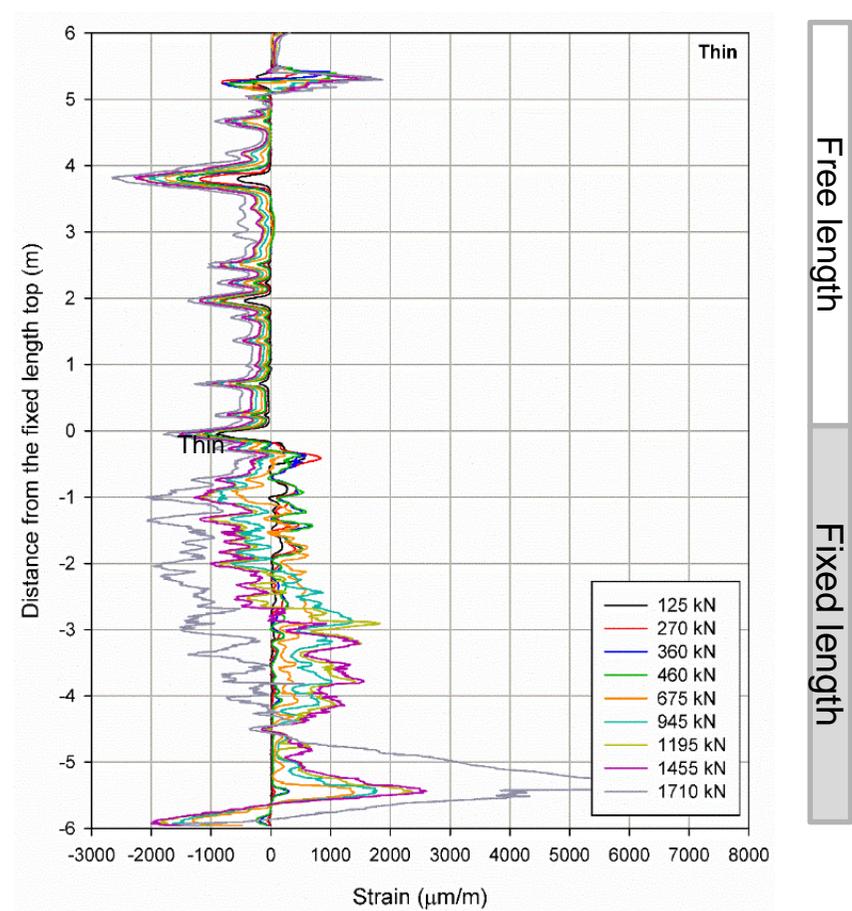
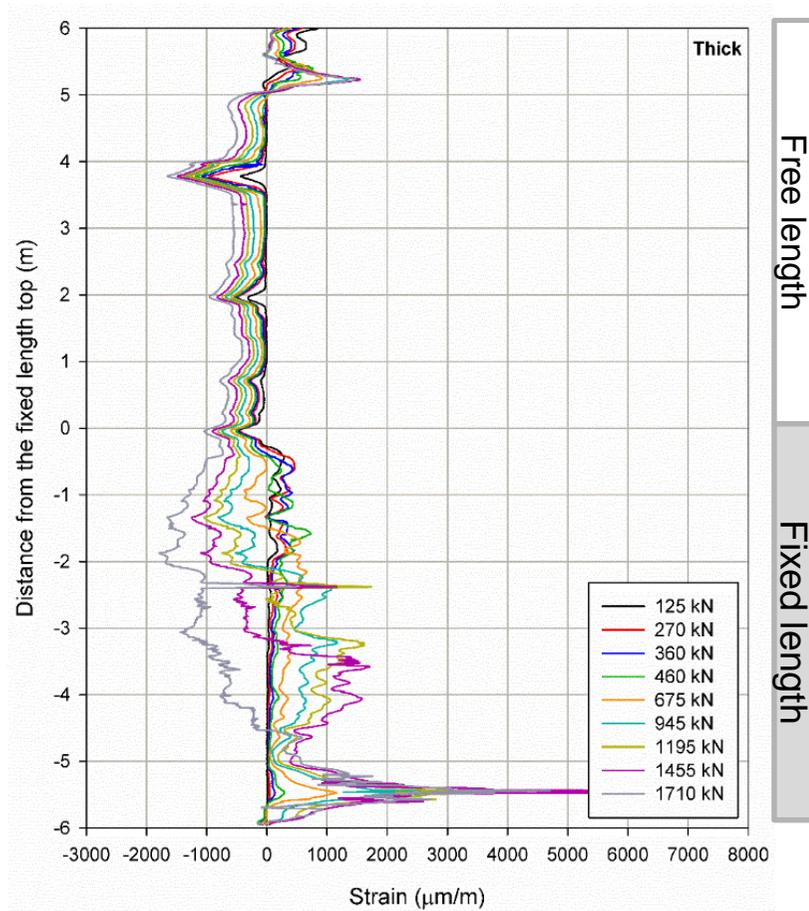
PULL-OUT TEST: LJUBLJANA

- Strain distribution: FO measurements (tendon)



PULL-OUT TEST: LJUBLJANA

- Strain distribution: FO measurements (grout)

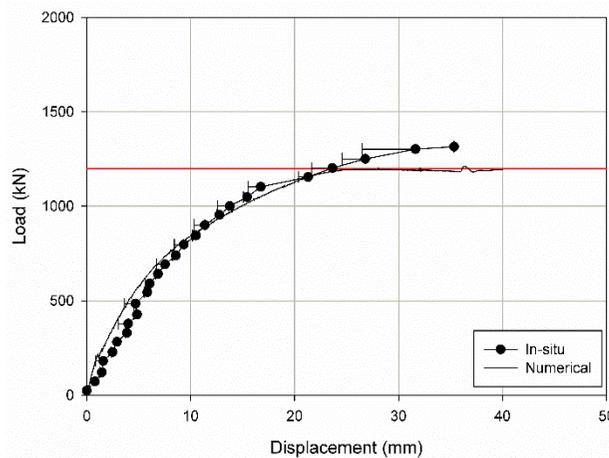


ST KANZIAN vs SALZBURG vs LJUBLJANA

- Load-displacement curves

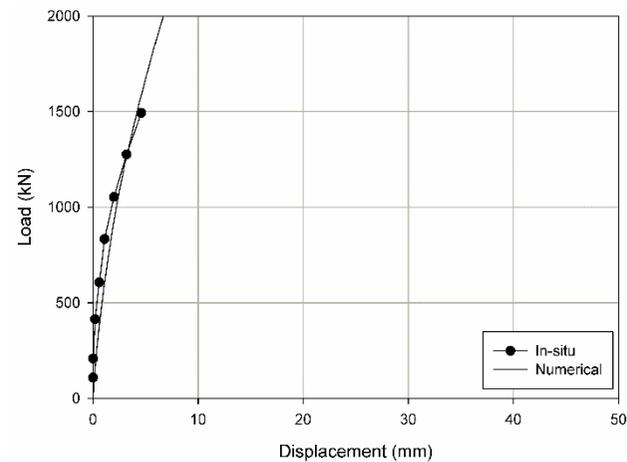
St Kanzian: clayey silt

$E = 6 \text{ MPa}$



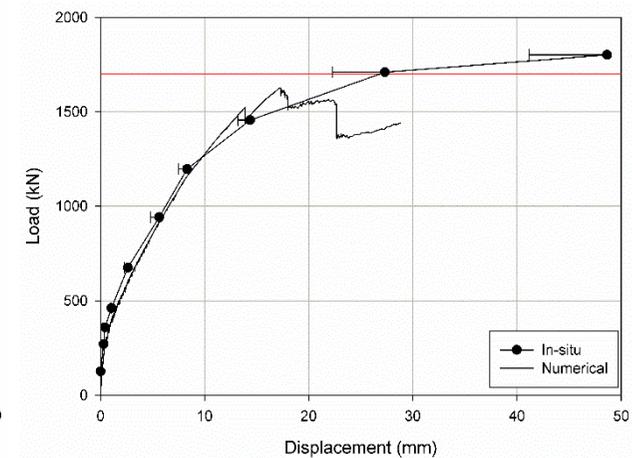
Salzburg: claystone

$E = 5000-10000 \text{ MPa}$



Ljubljana: gravel

$E = 40 \text{ MPa}$

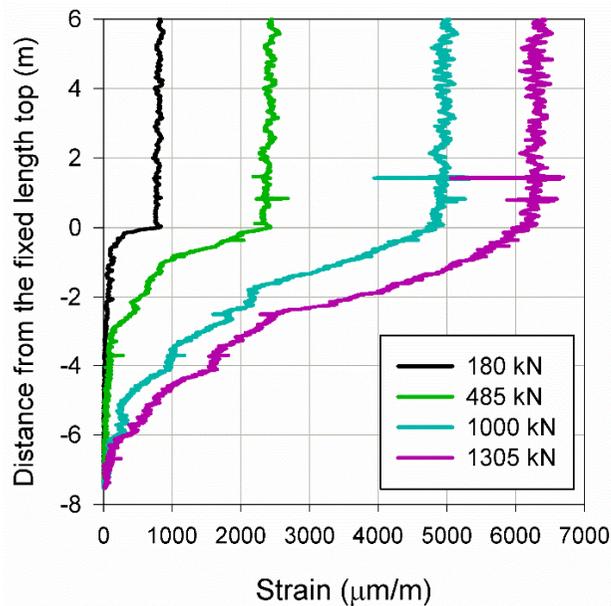


ST KANZIAN vs SALZBURG vs LJUBLJANA

- Strains along the tendon (FO measurements)

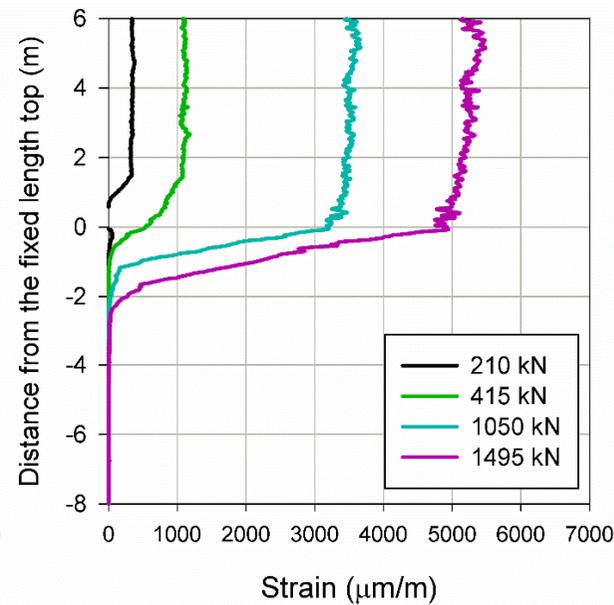
St Kanzian: clayey silt

E = 6 MPa



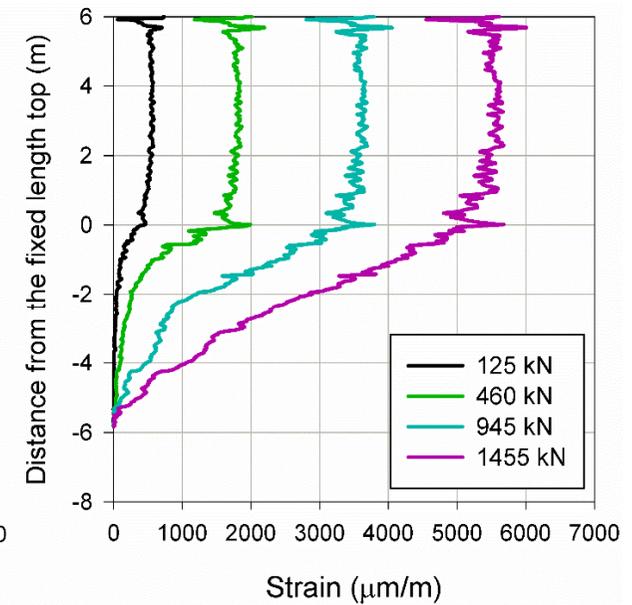
Salzburg: claystone

E = 5000-10000 MPa



Ljubljana: gravel

E = 40 MPa

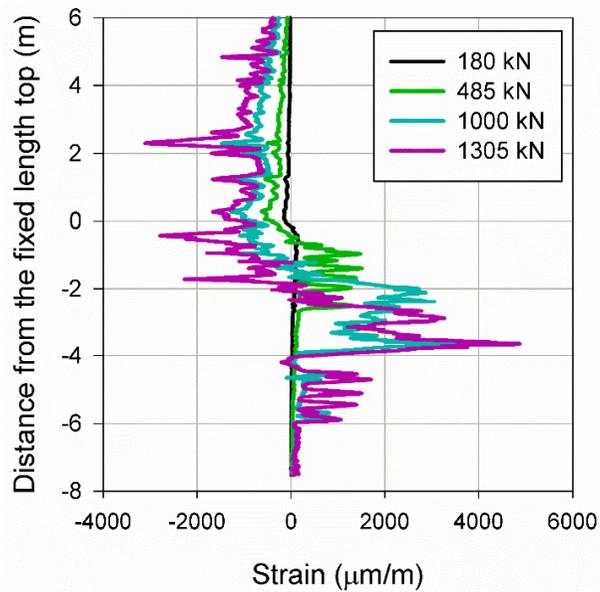


ST KANZIAN vs SALZBURG vs LJUBLJANA

- Strains along the grout (FO measurements)

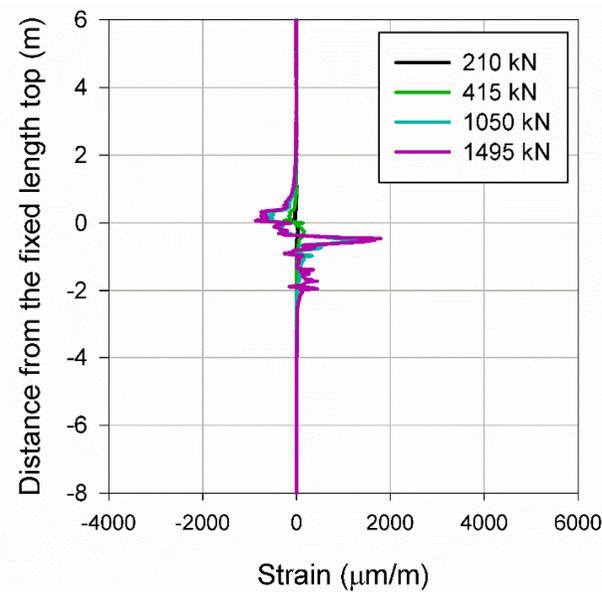
St Kanzian: clayey silt

E = 6 MPa



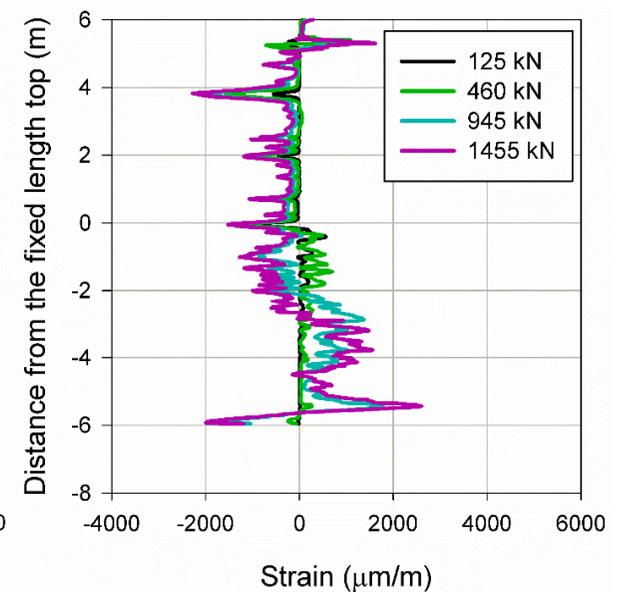
Salzburg: claystone

E = 5000-10000 MPa



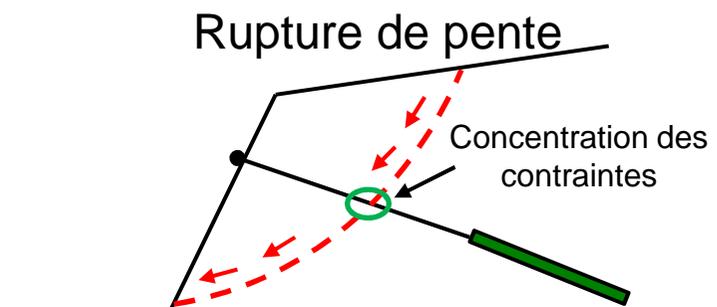
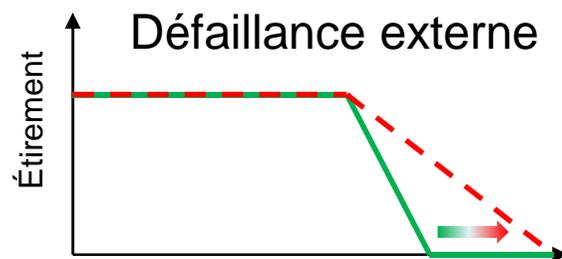
Ljubljana: gravel

E = 40 MPa



Résumé

- Grâce à la fibre de verre, nous pouvons «regarder» dans le sol pour la première fois.
- Les capteurs à fibre optique permettent la détection continue des contraintes dans les brins et le coulis
- Capteurs robustes
- Transfert de charge non impacté
- La fissuration dans le coulis peut être reproduite numériquement avec le modèle de matériau correspondant
- Les mesures sur fibre optique permettent une optimisation économique
 - Optimisation de la longueur d'ancrage, notamment dans la roche dure
 - Optimisation des ancrages multi-étages
- Des informations supplémentaires peuvent être utiles pour des mesures en continu



**Merci de
votre attention!!!**

