



## Colloque CFMR – AFTES

Jeudi 7 décembre 2006 à Paris

"Le tunnel de base du Lötschberg – les premiers enseignements à en tirer"

Présentation de Dr. François Vuilleumier



# Tunnel de base du Lötschberg

**IGWS** Lötschberg-Basistunnel Süd  
INGENIEURGEMEINSCHAFT WESTSCHWEIZ



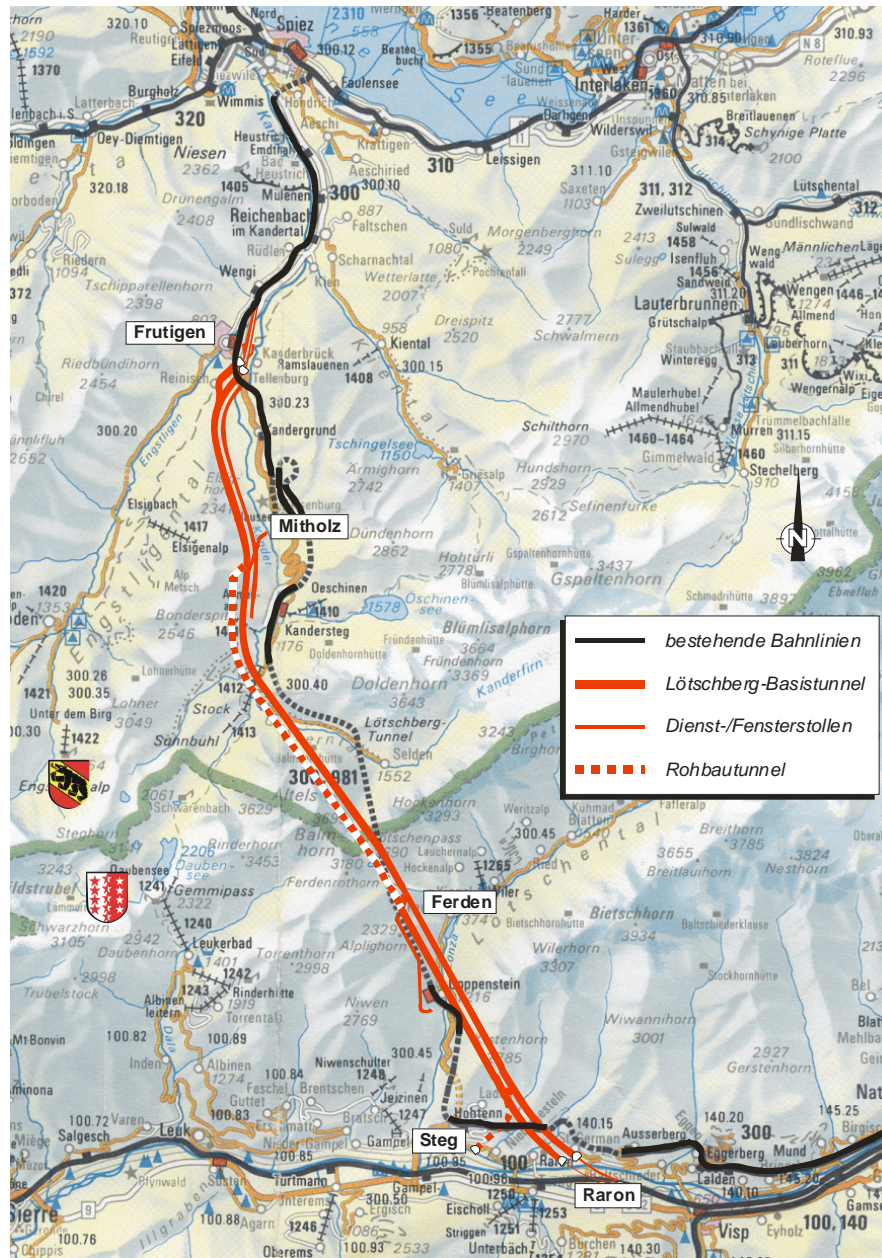
*Relier l'Europe ...*





# Tunnel de base du Lötschberg

## Vue générale

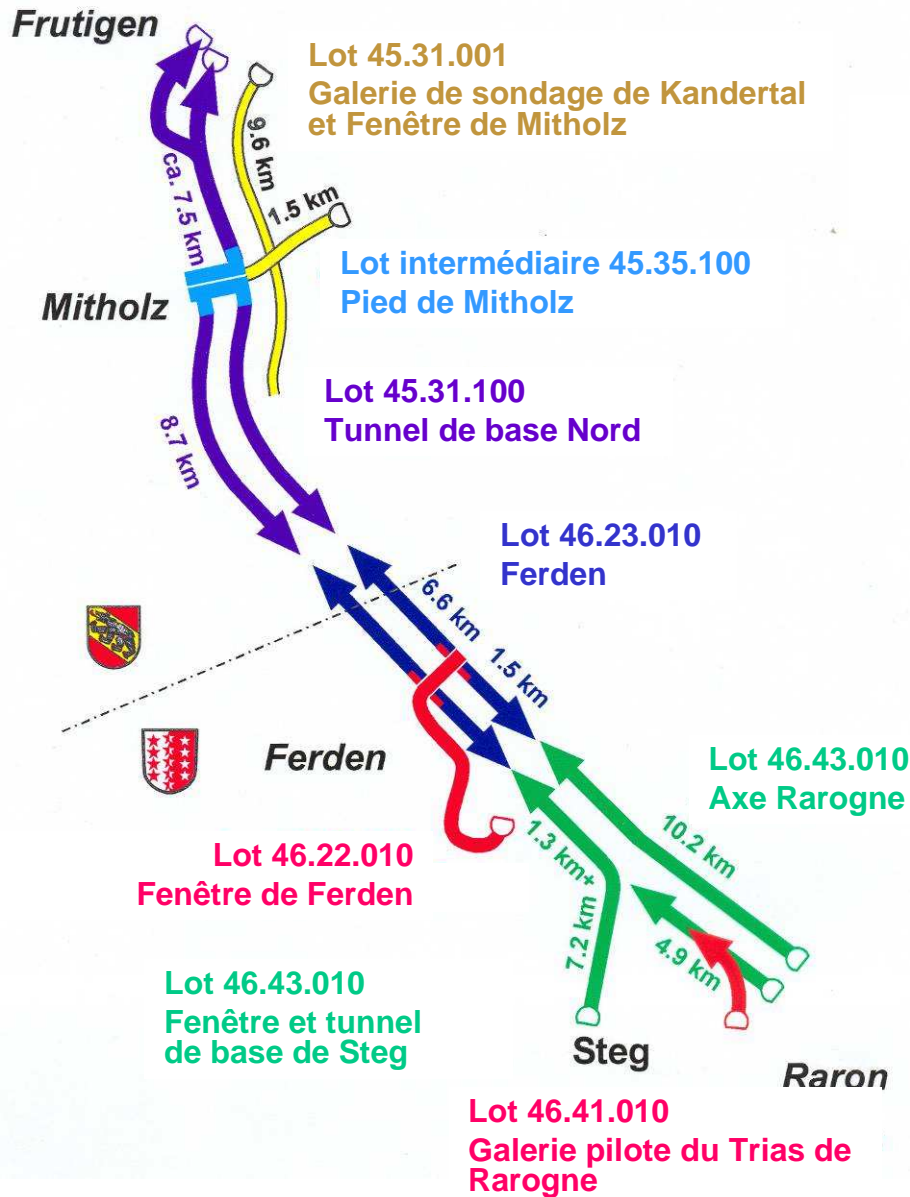


- ligne ferroviaire existante
- tunnel de base du Lötschberg
- fenêtre
- - - tunnel non équipé



# Tunnel de base du Lötschberg

## Vue générale du projet







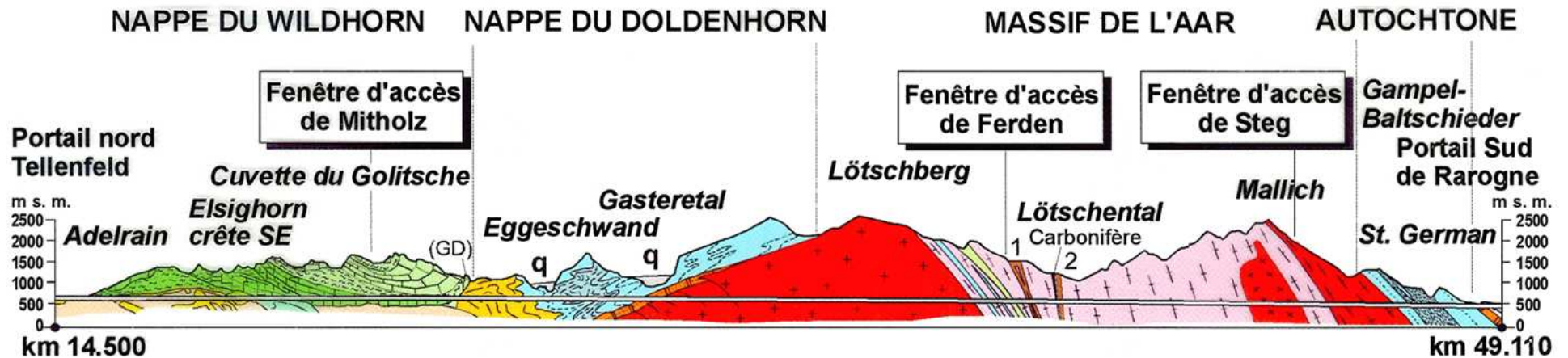
## Quelques dates importantes

- Fin de l'excavation : 28 avril 2005
- Début de l'équipement : décembre 2005
- Fin de l'équipement : novembre 2006
- Début des essais : fin 2006
- Fin des essais : juin 2007
- Ouverture du tunnel au trafic commercial : juillet 2007



# Tunnel de base du Lötschberg

## Coupe géologique

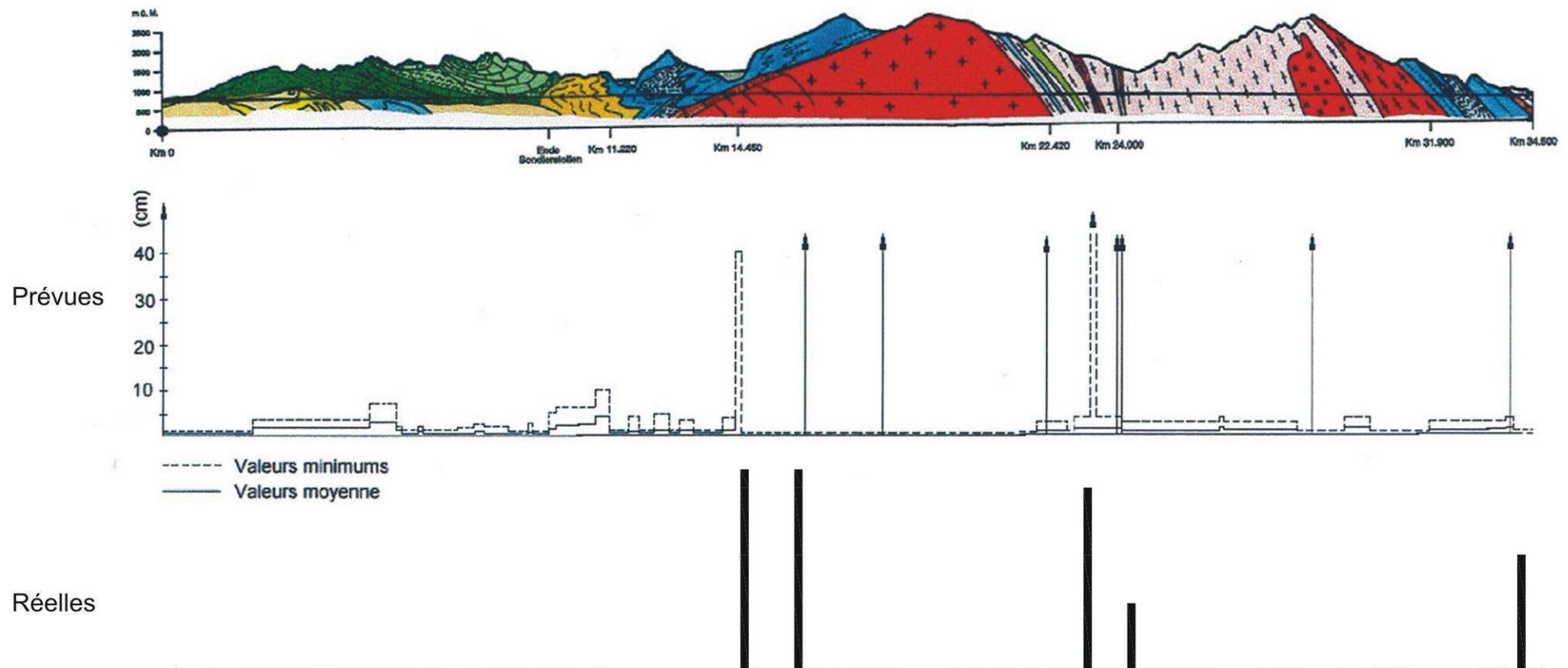


- q Remplissage quaternaire
- Série de Taveyanne Grès et "Dachschiefer"
- Flysch d'origine incertaine
- Nappe du Wildhorn Partie supérieure plissée  
Partie inférieure écaillée
- Mélange
- Nappe du Gellihorn (GD)
- Flysch de la nappe du Doldenhorn

- Nappe du Doldenhorn et Autochtone Prédominant calcaire marneux (au Sud: Schistes argileux durs) prédominant calcaire
- Trias autochtone Dolomies, schistes, gypse/ anhydrite, grès
- Ecaille de la Jungfrau
- + Massif de l'Aar Granite de Gastern
- x Massif de l'Aar Granite central de l'Aar
- / Massif de l'Aar Granodiorite de Baltschieder
- Massif de l'Aar Socle cristallin: gneiss, schistes
- Ecailles de sédiment
- Gneiss à amphibole, amphibolite
- Zônes de phyllites 1 Dornbach/ 2 Faldumbach



## Convergences prévues et réelles







# Tunnel de base du Lötschberg

## Zone de contact





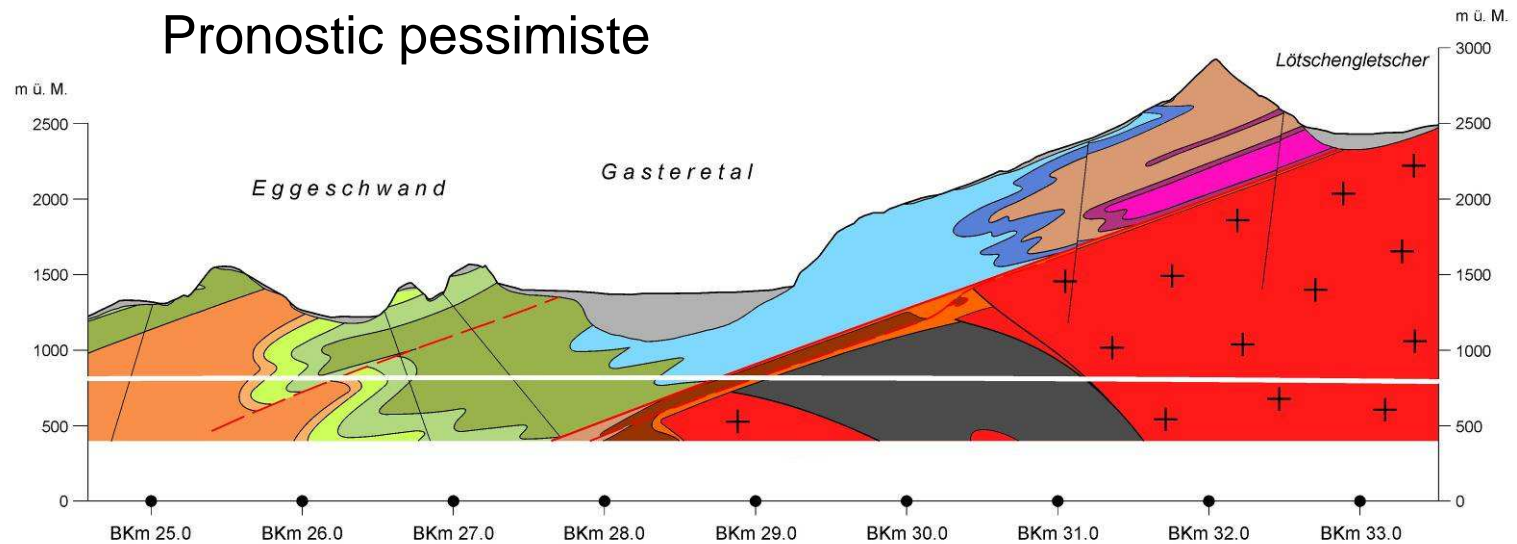
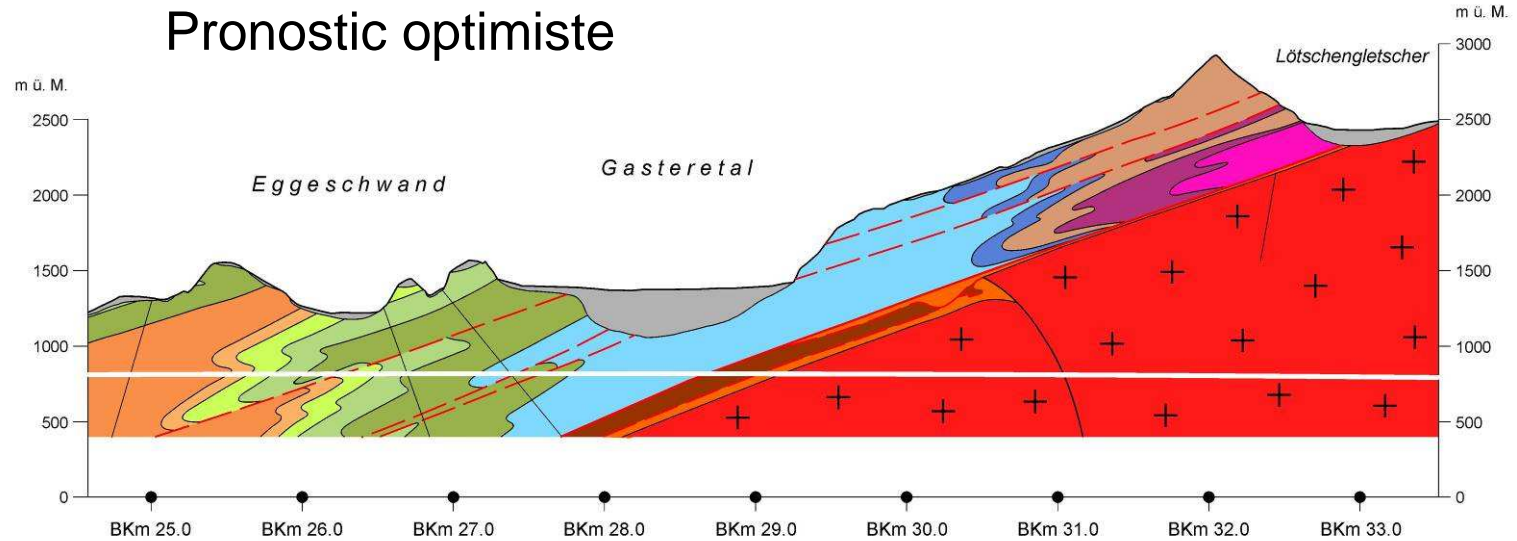


# Rencontre imprévue de Carbonifère dans le massif du Gastern



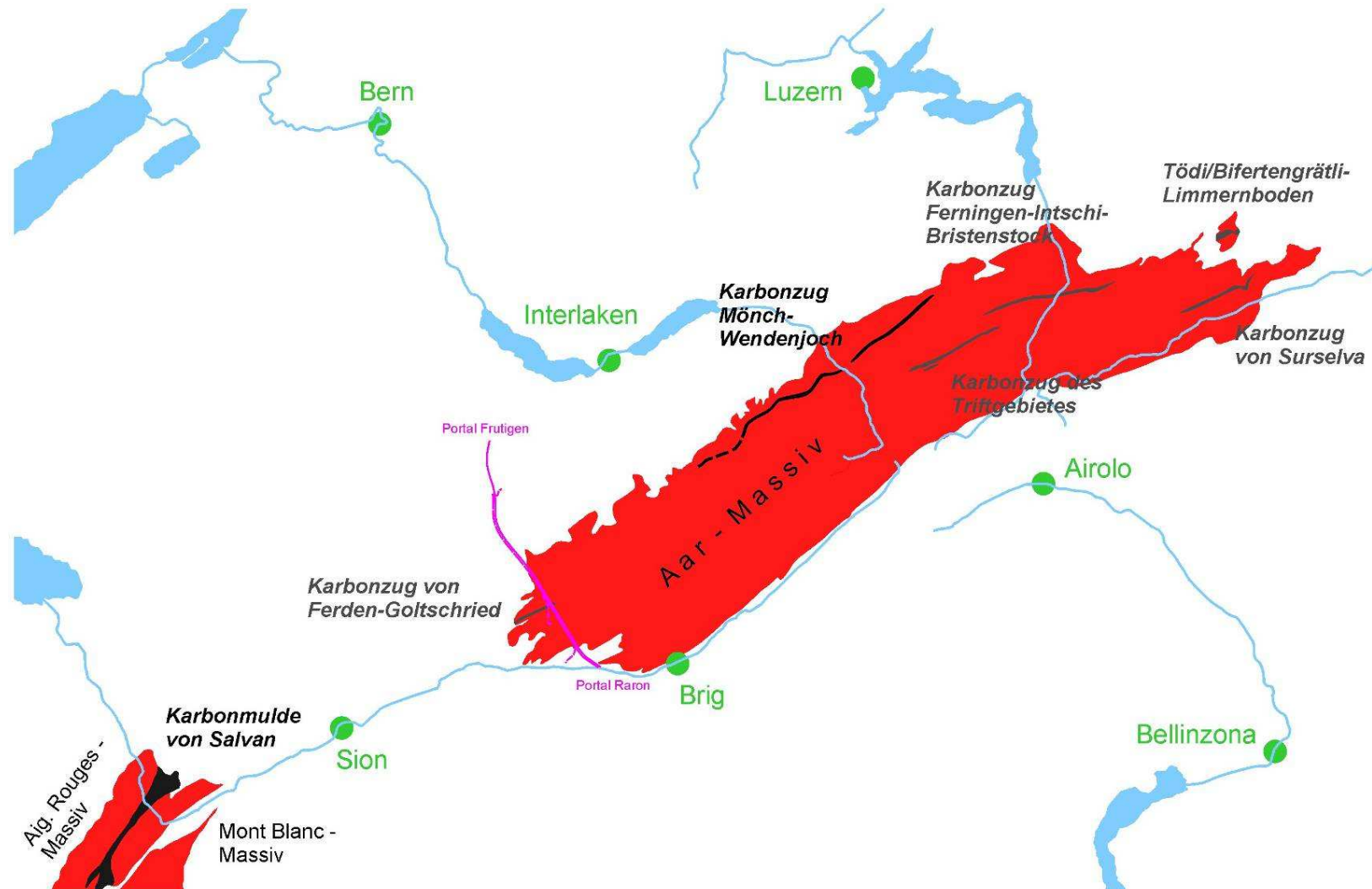


## Profil géologique, choix de variante 1992

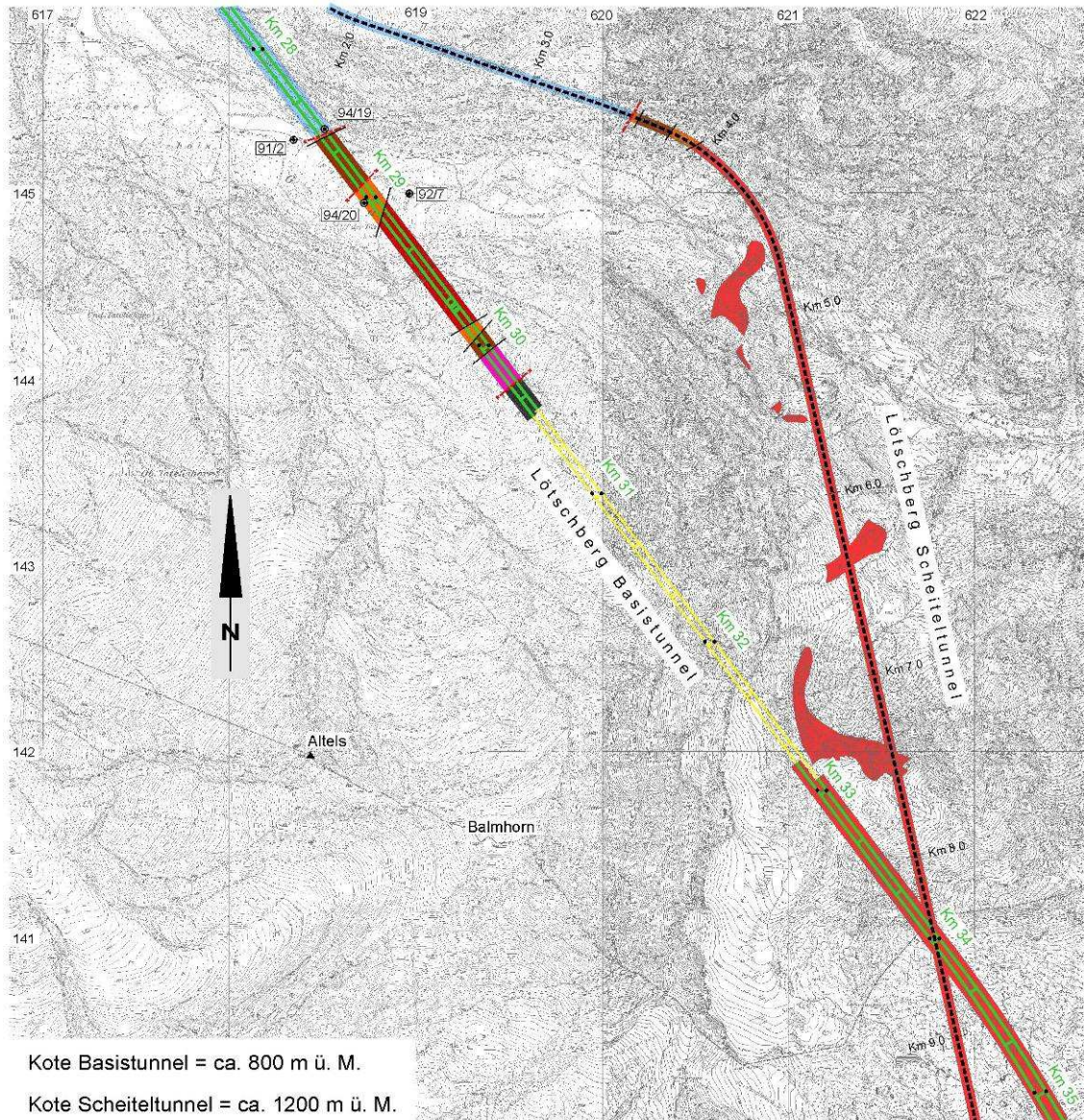




## Affleurements de carbonifères







Coupe  
géologique  
horizontale avec  
situation des  
affleurements de  
granite





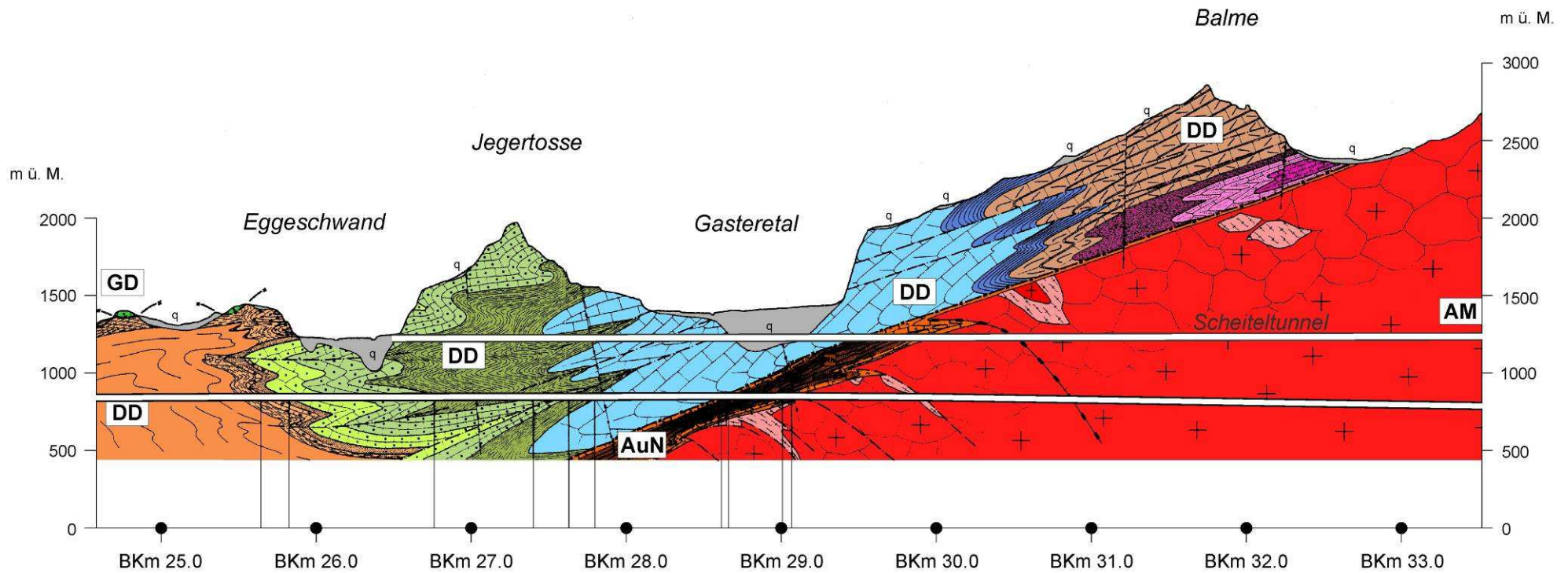
## Front ouest (BES-Bahn - km 30.408)





# Tunnel de base du Lötschberg

## Profil des pronostics géologiques (état : soumission 1998)







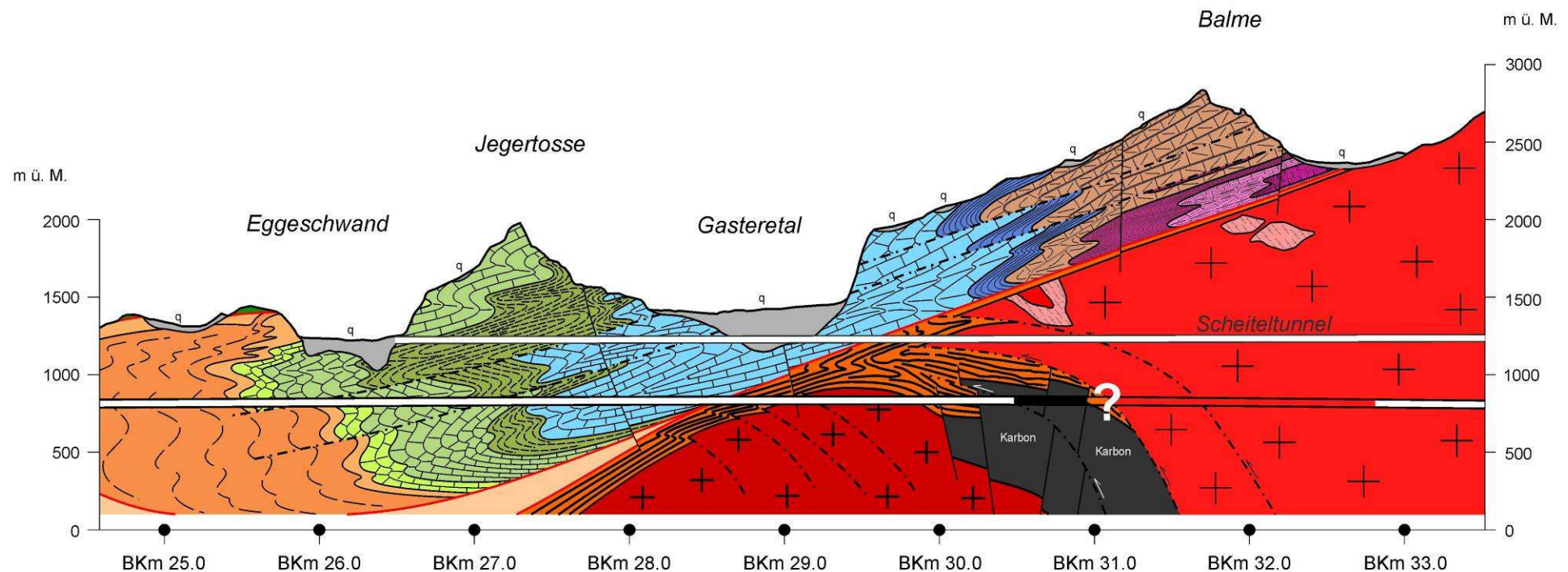
# Tunnel de base du Lötschberg

## QV 48 (BWS-Bahn - km 30.370)





## Profil des pronostics géologiques (état : début juin 2004)



# Problèmes rencontrés dans la zone carbonifère du Tunnel de base du Lötschberg

Prof. hon. F. Descoeurdes, J.-P. Dudt, F. Sandrone

**LMR**  
LABORATOIRE DE  
MÉCANIQUE DES ROCHES

Colloque CFMR – AFTES, jeudi 7 décembre 2006, Paris



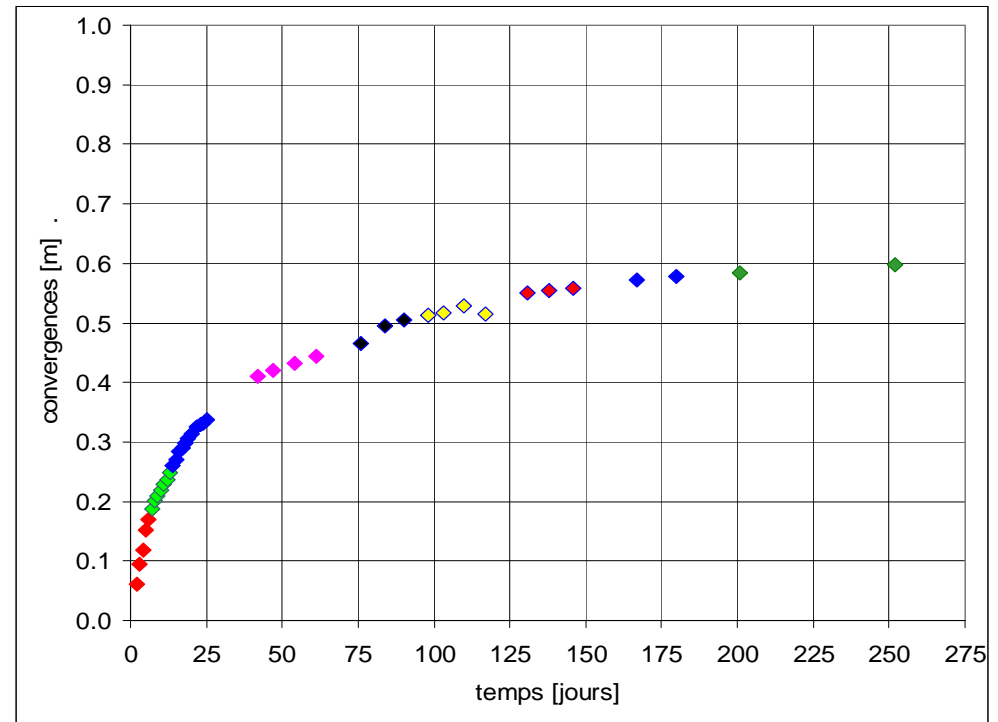
# Mission

EPFL - LMR

- Validation indépendante des calculs et des réflexions faits par l'Ingénieur de projet IG-LBT (M. Keller IUB)
- Adaptation de la méthode d'avancement, renforcement du soutènement
- Prévion de l'évolution des déformations encore à venir en interprétant les mesures de convergence effectuées dans la Zone Carbonifère
- Conséquences constructives pour la suite des travaux

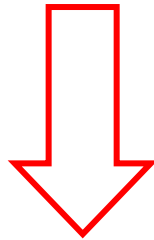
# Analyse des convergences

- **But**: déterminer le moment optimal pour la pose du revêtement intérieur
- en **extrapolant** les convergences mesurées
- => Il faut faire de l'adaptation de courbes « progressive » en se basant sur des **modèles de fluage**.



# Modèles de fluage utilisés

Adaptation « progressive » de courbes



modèles de *fluage* pour un tunnel circulaire profond:

1. terrain *élasto-visqueux* (calcul analytique)
2. combinaison de la distance au front et du fluage du terrain (curve-fitting; *Sulem – Panet – Guenot – 1987*)
3. terrain *élasto-visco-plastique* (calcul numérique; *P.Fritz – 1984*)



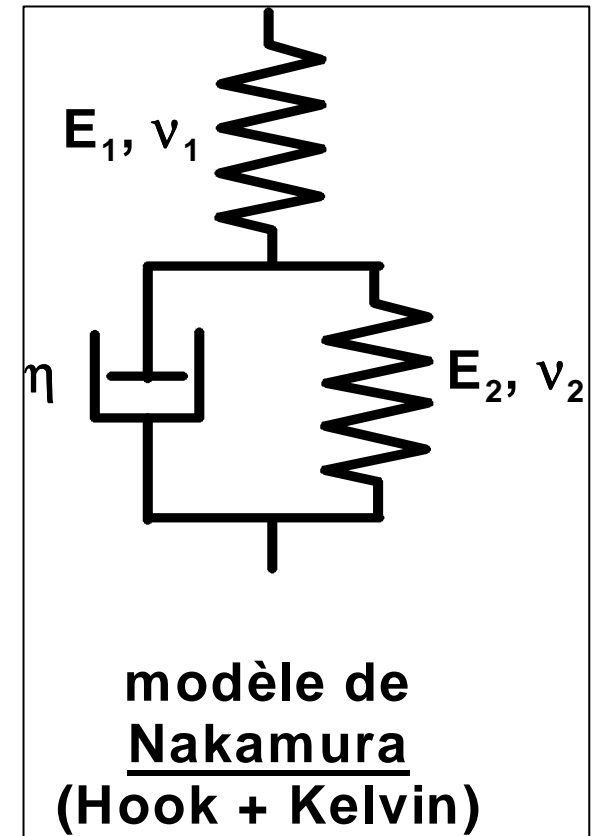
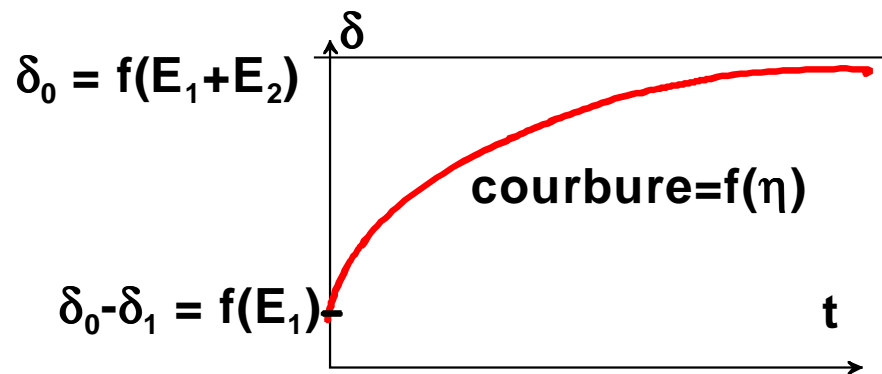
# 1. Fluage purement élastique

EPFL - LMR

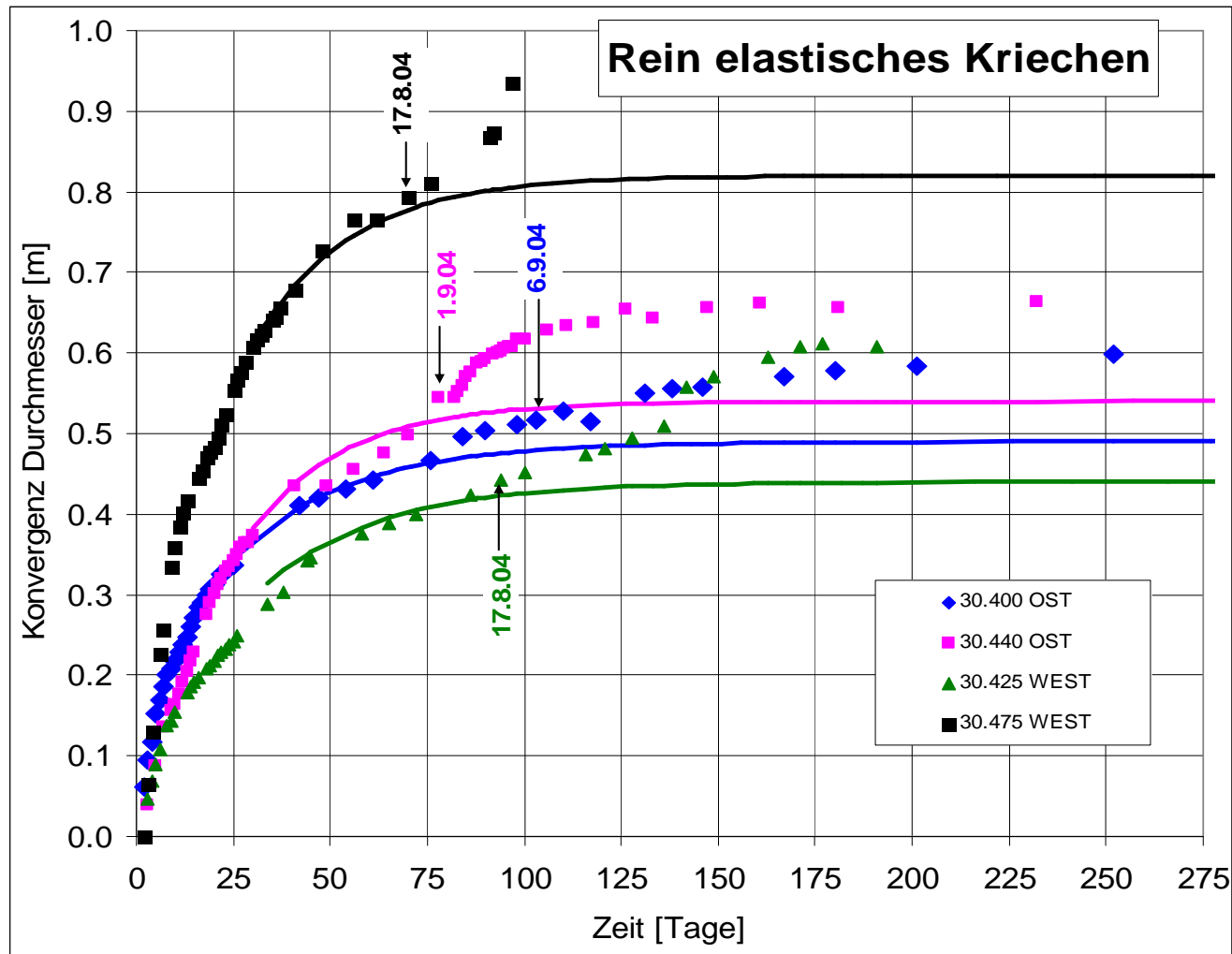
$$\delta(t) = \delta_0 - \delta_1 \exp\left(-\frac{t}{T}\right)$$

■ 3 constantes à adapter:

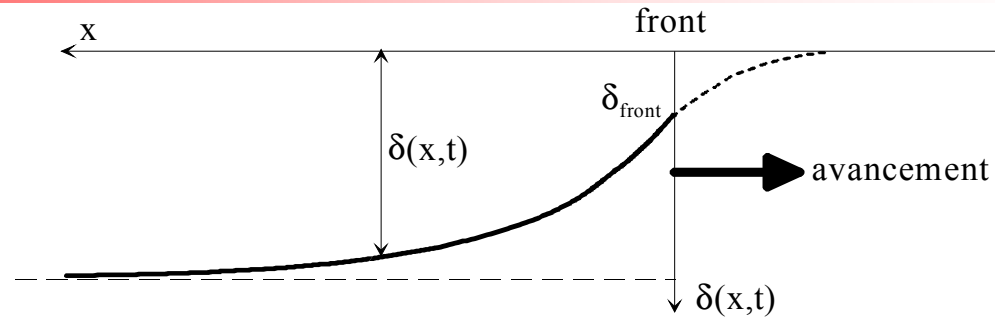
- $\delta_0$  et  $\delta_1$  : cstes de dépl. liées à E et  $\nu$
- T : cste de temps liée à  $\eta$



# 1. Fluage purement élastique



# 1. Méthode Sulem – Panet – Guenot



*Sulem – Panet – Guenot (1987):*

→ fluage du terrain + effet de l'avancement du front

$$\delta(x, t) = \delta_{x\infty} \left[ 1 - \left( \frac{X}{X+x} \right)^2 \right] \cdot \left\{ 1 + m \left[ 1 - \left( \frac{T}{T+t} \right)^{0.3} \right] \right\}$$

constante adimensionnelle  
 constante de distance  
 constante de temps

convergence  
 (t = 0 et x → ∞)

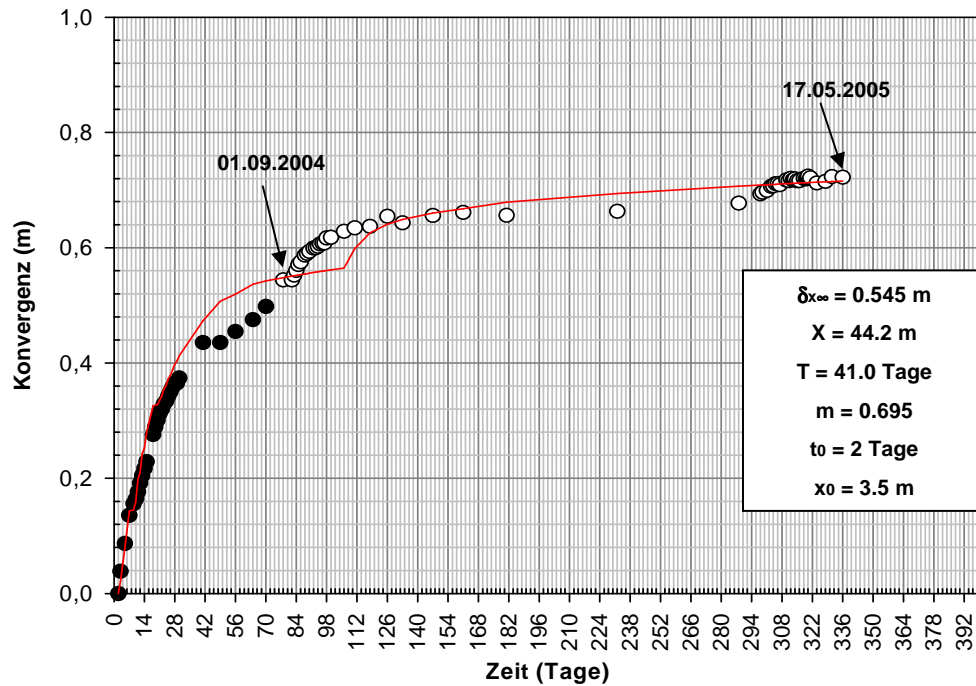
distance de la section  
 de mesure au front

temps

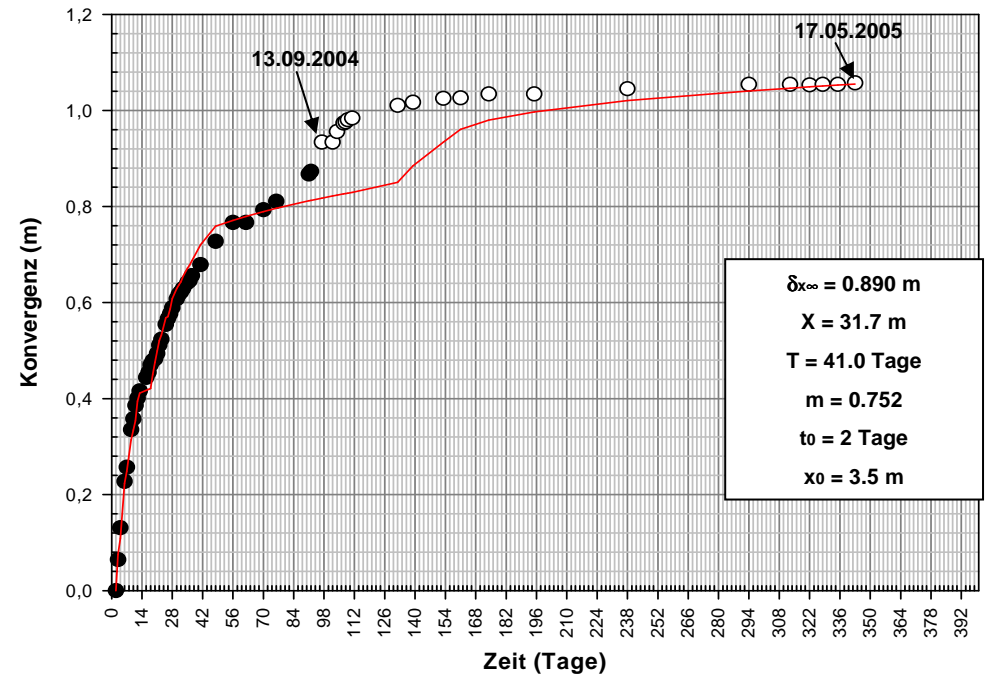


# 1. Méthode Sulem – Panet – Guenot

MQ 30.440 OST



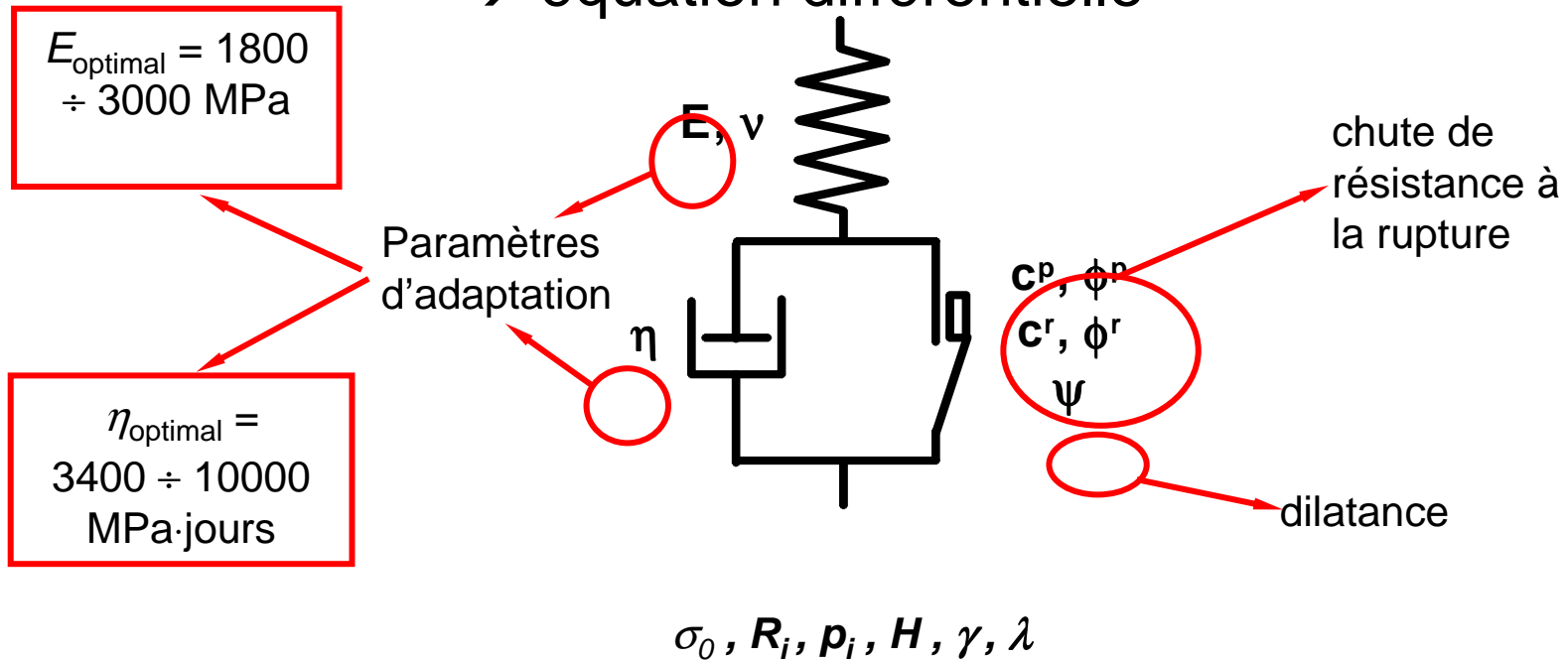
MQ 30.475 WEST



# 2. Modèle élasto-visco-plastique

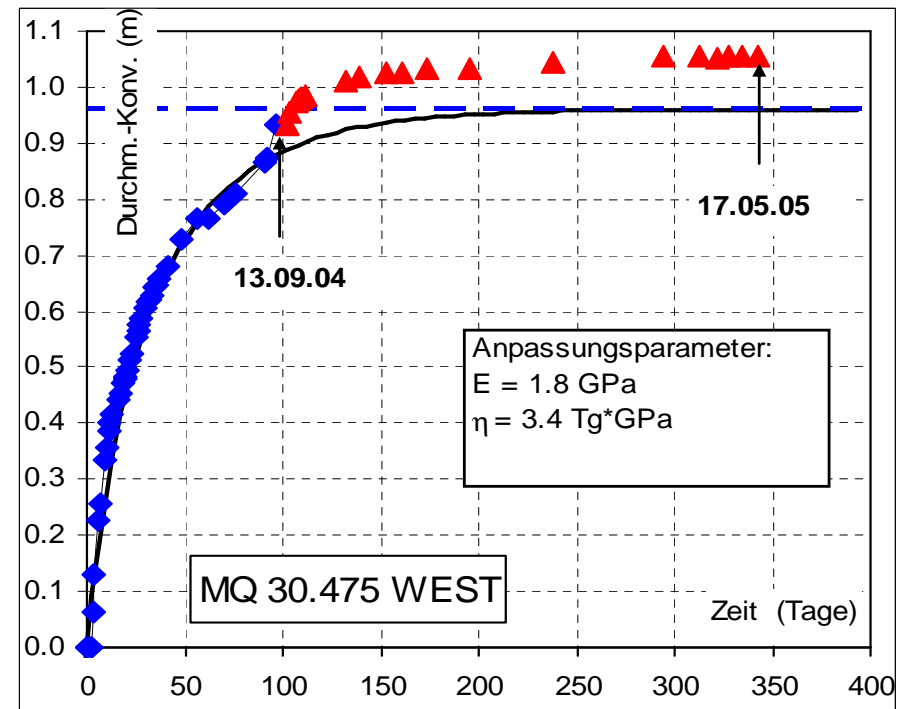
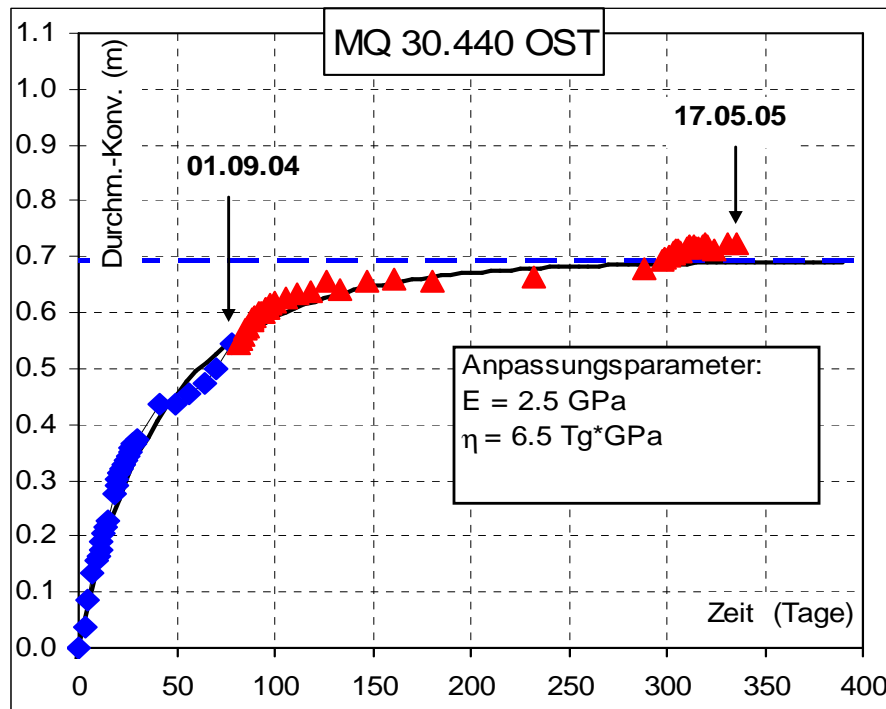
*P.Fritz* (1984): modèle de *Bingham* cas axisymétrique

→ équation différentielle



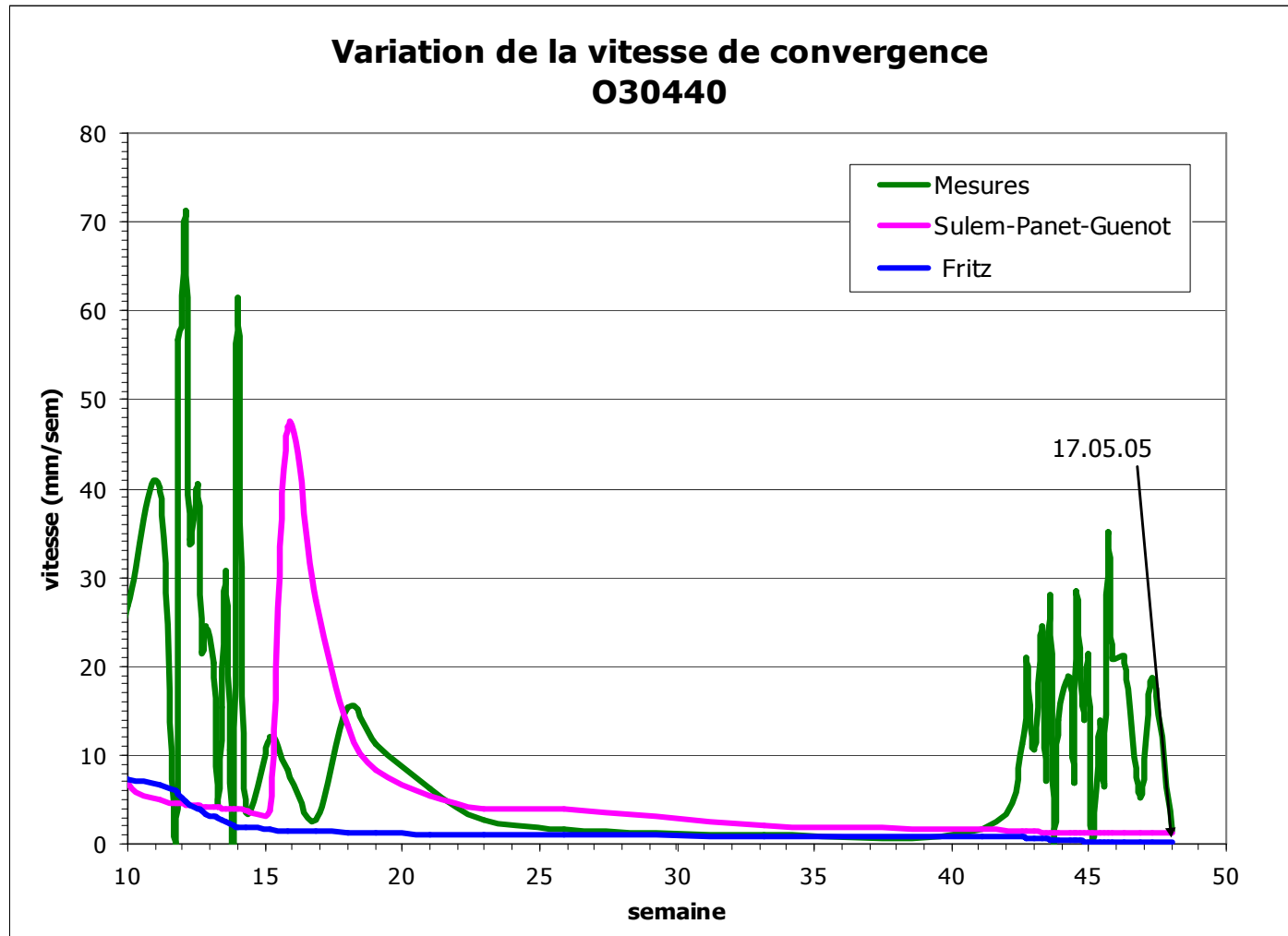
Paramètres fixés											
$H$	$\gamma$	$\lambda$	$\sigma_0$	$\nu$	$R_i$	$p_i$	$C^p$	$\phi^p$	$C^r$	$\phi^r$	$\psi$
1300m	26kN/m <sup>3</sup>	1	33.8MPa	0.3	5m	0.3MPa	1.5MPa	35°	1MPa	30°	20°

# 2. Modèle élasto-visco-plastique





# Analyse des vitesses de convergence

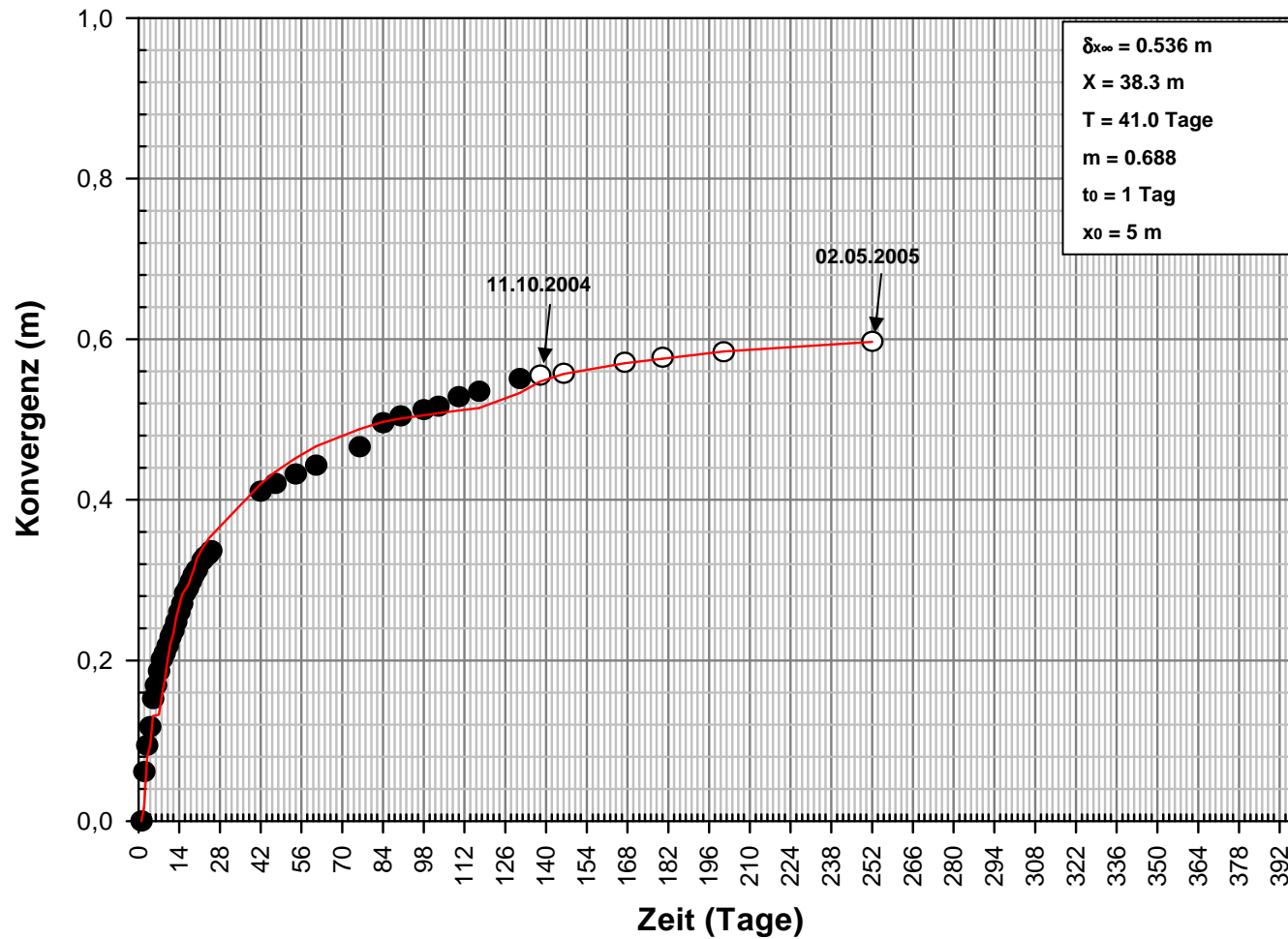


# Conclusion sur les 3 modèles de comportement différé utilisés

EPFL - LMR

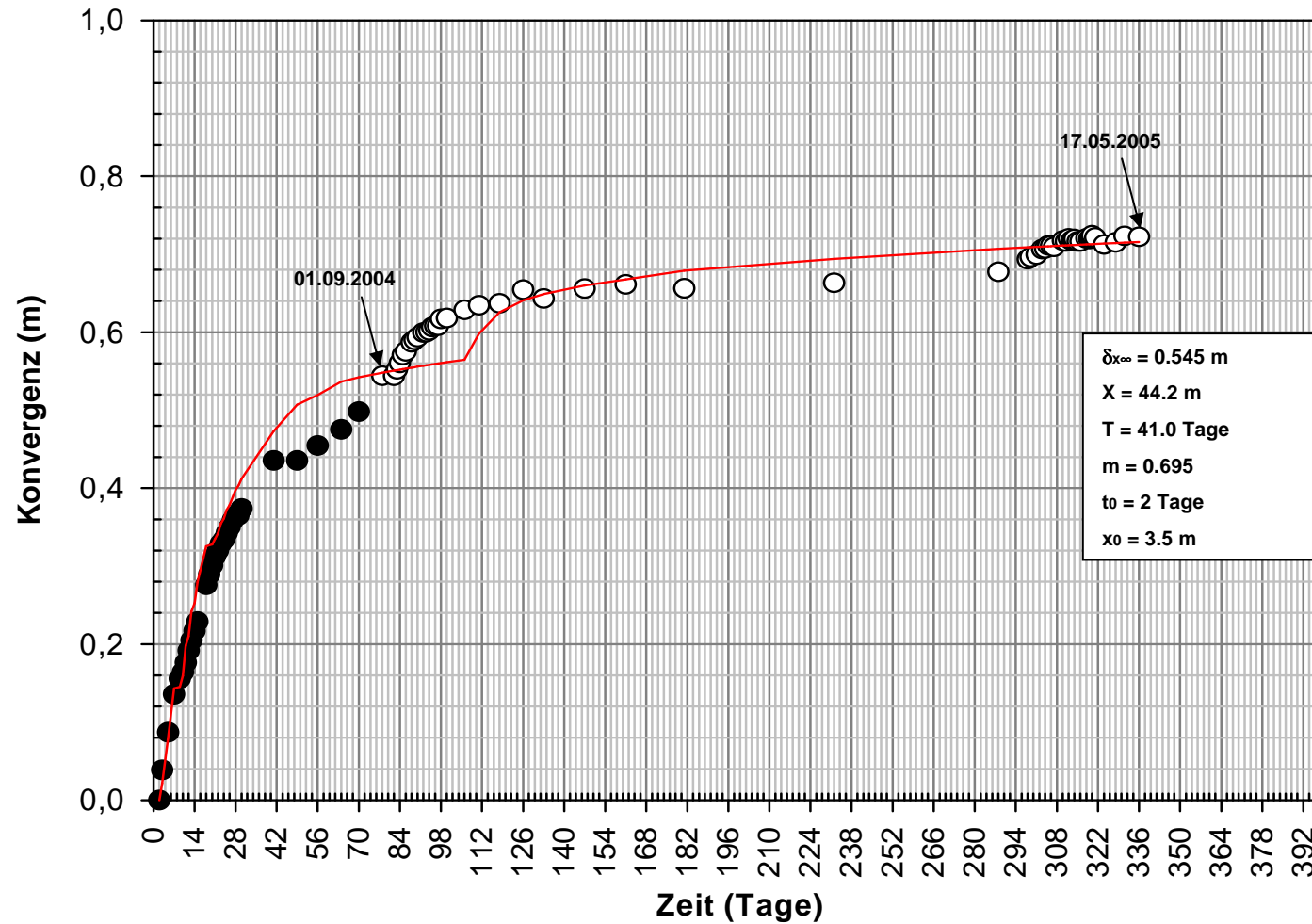
- Les résultats obtenus sont à relativiser car les 3 méthodes admettent un tube circulaire unique en condition axi-symétrique et sans perturbations locales (p.ex. reprofilages)
- L'hypothèse du fluage purement élastique est à écarter
- Les meilleurs résultats sont obtenus avec la méthode de Fritz (comportement élasto-visco-plastique)
- Les convergences calculées pour  $t$  infini permettent d'estimer les mouvements encore à attendre; l'allure des convergences en fonction du temps permet d'estimer le moment idéal de la pose du revêtement intérieur.

## MQ 30.400 OST





## MQ 30.440 OST







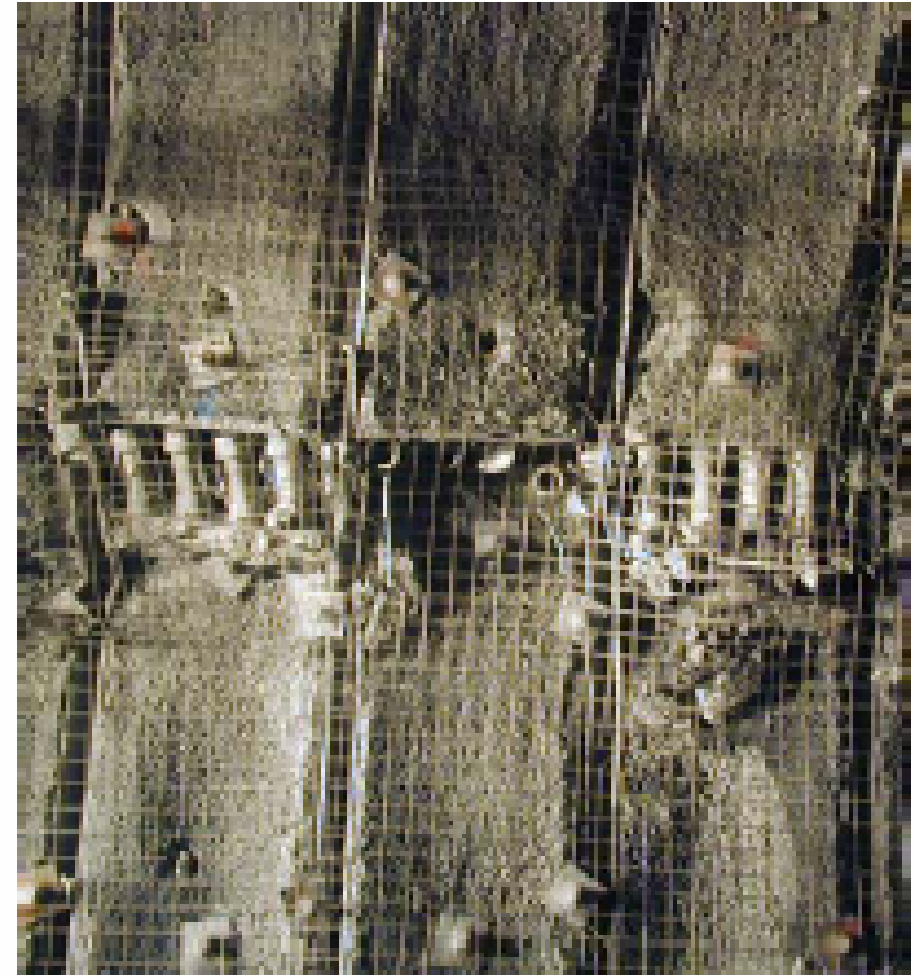


# Loetschberg - Zone Carbonifère

EPFL - LMR



8591.11-RN005/Vlm/Ggr



Colloque CFMR – AFTES, jeudi 7 décembre 2006, Paris



# Conséquences constructives

EPFL - LMR

## TUNNEL OUEST

**En mai 2005 renforcement au moyen de béton projeté complété par un treillis fixé par des ancrages**

- Béton projeté éventuellement fibré de 8cm, treillis K 188, ancrages 3m de long sur une maille 1,5x1,5m
- Poursuite des mesures de convergence

### Avantages:

- Empêcher la chute des petit blocs
- Détection de fissures dans le béton projeté et réparation éventuelle
- Fonction témoin pour le tunnel Est avant revêtement
- Rapidité et économie de la mise en oeuvre

# Conséquences constructives

EPFL - LMR

## TUNNEL EST

### Bétonnage du revêtement définitif à partir du printemps/été 2005:

- Épaisseur minimale du béton de revêtement de 30cm, à contrôler par relevé continu de la géométrie du tunnel
- Reprofilage localisé éventuel avec un profil arrondi
- Amélioration de la ductilité du revêtement avec un béton fibré
- Poursuite des mesures de convergences et des autres contrôles
- Vérification du dimensionnement par une modélisation par éléments finis (forme non circulaire, état de contraintes non uniforme, déformabilité et résistance anisotropes)

## La zone du carbonifère a entraîné:

- Fortes convergences immédiates et surtout différées
- Baisse des cadences d'avancement d'environ 10 m/jour à 1.5 m/jour
- Adaptation du profil, mise en œuvre de soutènements renforcés avec des éléments amortisseurs de déformation
- Travaux d'assainissement supplémentaires
- Après reprise de l'avancement dans le massif granitique, stabilisation des convergences
- Poursuite des mesures de convergences et autres précautions avant, pendant et après la mise en œuvre des renforcements additionnels (tunnel ouest) et du revêtement définitif (tunnel est)