



# LIEN ENTRE L'ETANCHEITE DES GALERIES EN CHARGE ET LES CONTRAINTES TECTONIQUES

**Gilbert CASTANIER - EDF**

# RAPPEL : SANS BLINDAGE

La **stabilité** d'une galerie à la pression interne est conditionnée par l'épaisseur de la **couverture** rocheuse latérale et verticale (règles de Talobre, et autres),

C'est aussi l'absence de roches solubles ou érodables.

L'**étanchéité** d'une galerie en charge est conditionnée par la nappe phréatique et ce, quelle que soit la charge hydraulique de la galerie.

Même ferrailé, un revêtement en béton n'est pas étanche.

## CRITERE D'ETANCHEITE D'UNE GALERIE EN CHARGE

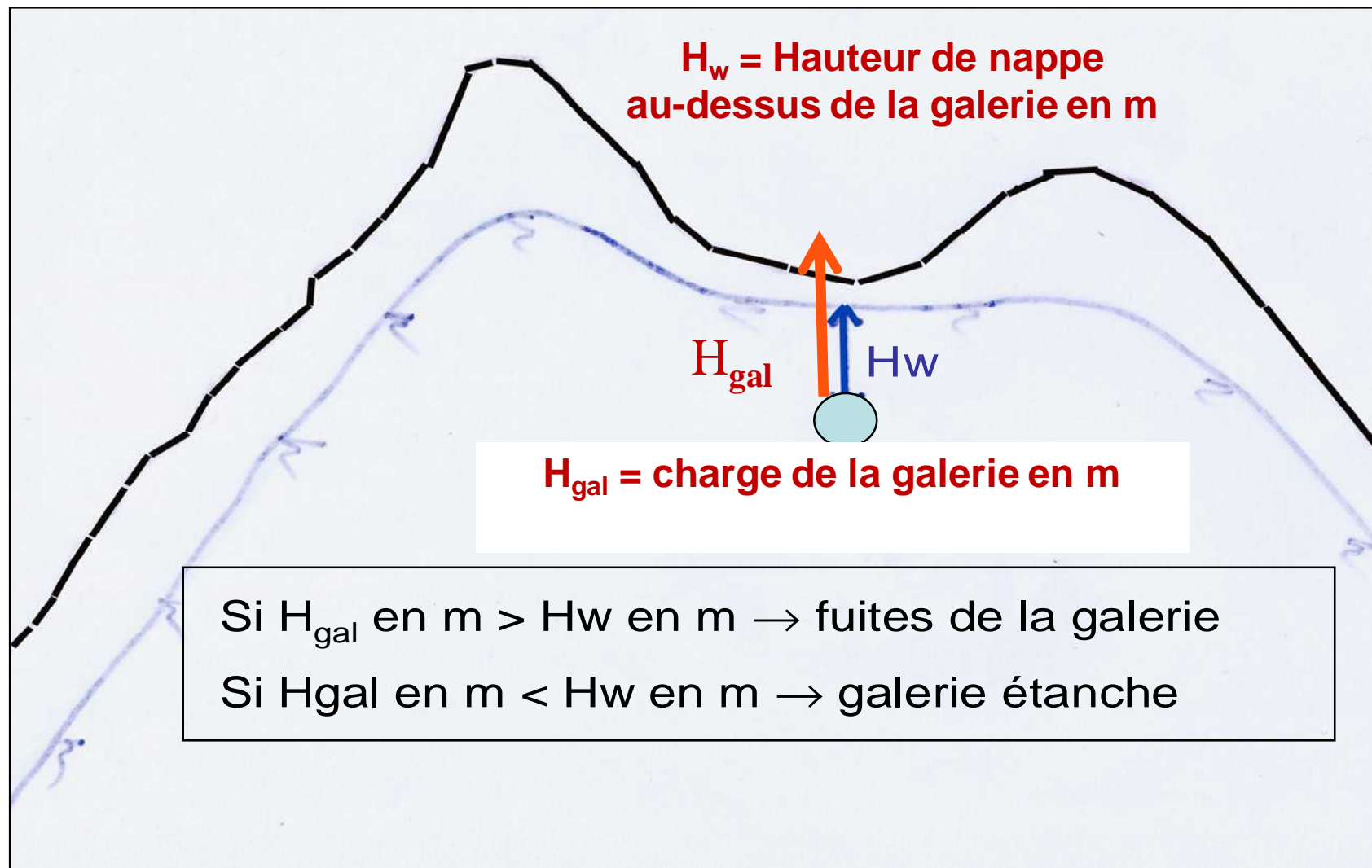
Une fuite de la galerie, est un écoulement qui résulte nécessairement d'un gradient hydraulique.

Par rapport à la pression intérieure de la galerie, la nappe phréatique exerce une contre-pression - ou pression extérieure - ce qui atténue le gradient hydraulique.

Si cette contre-pression est inférieure à la pression intérieure de la galerie, le gradient hydraulique génère un écoulement, de l'intérieur de la galerie vers l'extérieur, **et la galerie peut fuir.**

Si cette contre-pression est supérieure à la pression intérieure de la galerie, le gradient hydraulique génère un écoulement de la nappe, du massif vers l'intérieur de la galerie, **et la galerie est étanche quelle que soit sa charge hydraulique.**

# CRITERE D'ETANCHEITE D'UNE GALERIE EN CHARGE



## CRITERE D'ETANCHEITE D'UNE GALERIE EN CHARGE

Pourquoi si  $H_{gal} > h_{nappe}$  est-il encore possible d'éviter un blindage de la galerie ?

**C'est parce que le rocher lui-même est parfois capable de jouer lui-même le rôle d'un blindage.**

Pour cela, il faut que les contraintes tectoniques du massif soient suffisantes pour empêcher l'ouverture des fissures autour de la galerie, malgré la pression de l'eau qui tend à les ouvrir.

## CRITERE D'ETANCHEITE D'UNE GALERIE EN CHARGE

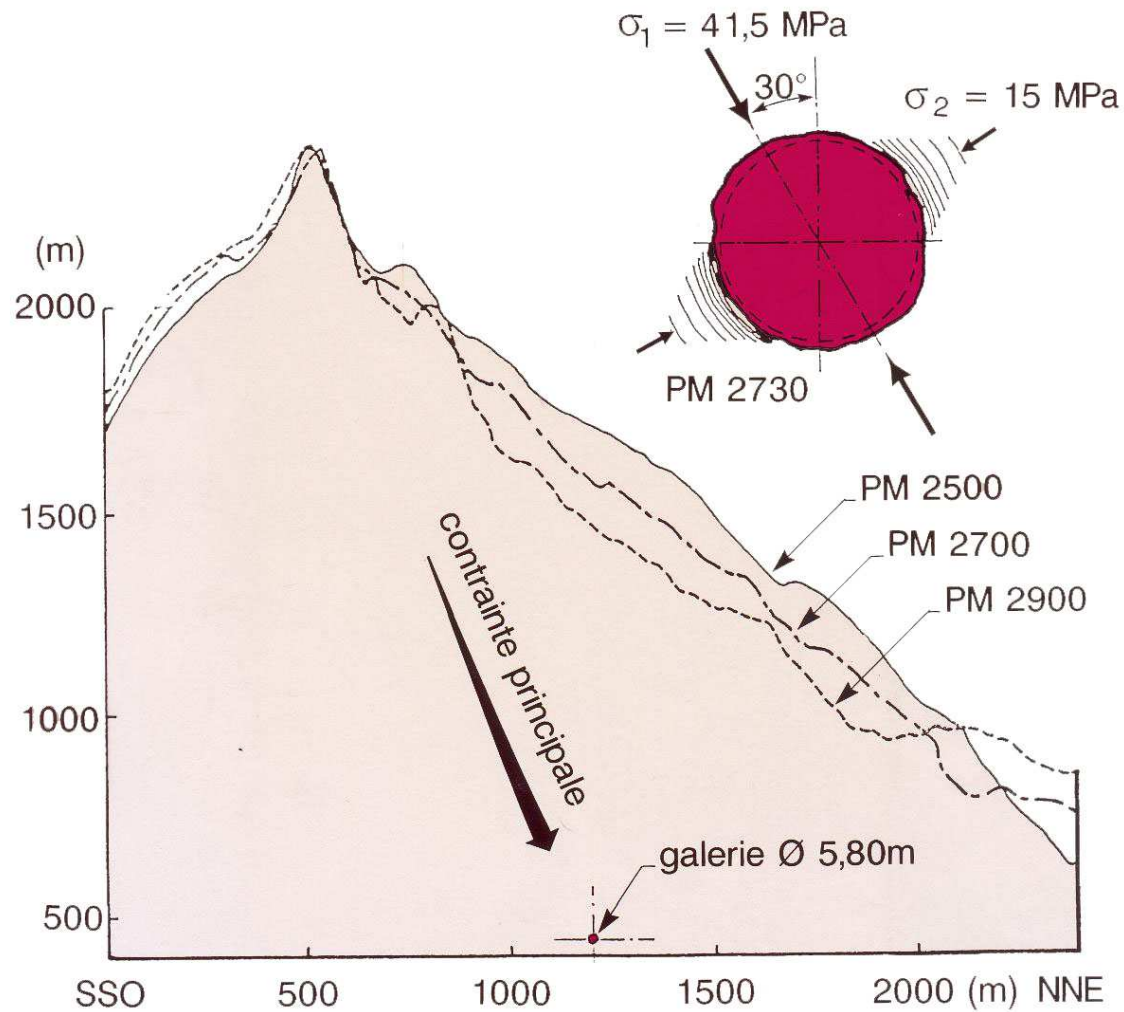
C'est là que réside le lien avec les contraintes tectoniques, du massif, notamment la contrainte principale mineure.

Il n'est pas facile de comparer, de façon fiable, la valeur réelle des contraintes à la paroi d'une galerie, à la pression hydrostatique.

De plus, près des versants montagneux, les contraintes sont anisotropes, parfois même fortement anisotropes

# GALERIE D'ARC - ISÈRE

## ANISOTROPIE DES CONTRAINTES PRES DU VERSANT



## LES ESSAIS HYDRAULIQUES A FORTE PRESSION

Cette incertitude sur la valeur des contraintes à la paroi conduit à privilégier un essai hydraulique qui intègre à la fois l'effet de la pression de l'eau qui tend à ouvrir les fissures, et la réalité de la valeur des contraintes du massif qui tend à les fermer.

C'est l'essai de perméabilité à Haute Pression (essai HP) qui permet de vérifier que la pression de l'eau, dans la galerie, est inférieure à la contrainte principale mineure du massif.

ce qui permet de garantir l'absence de fuites de la galerie quand la condition sur la nappe phréatique n'est pas remplie.



# EX D' ESSAIS HP REALISES A EDF

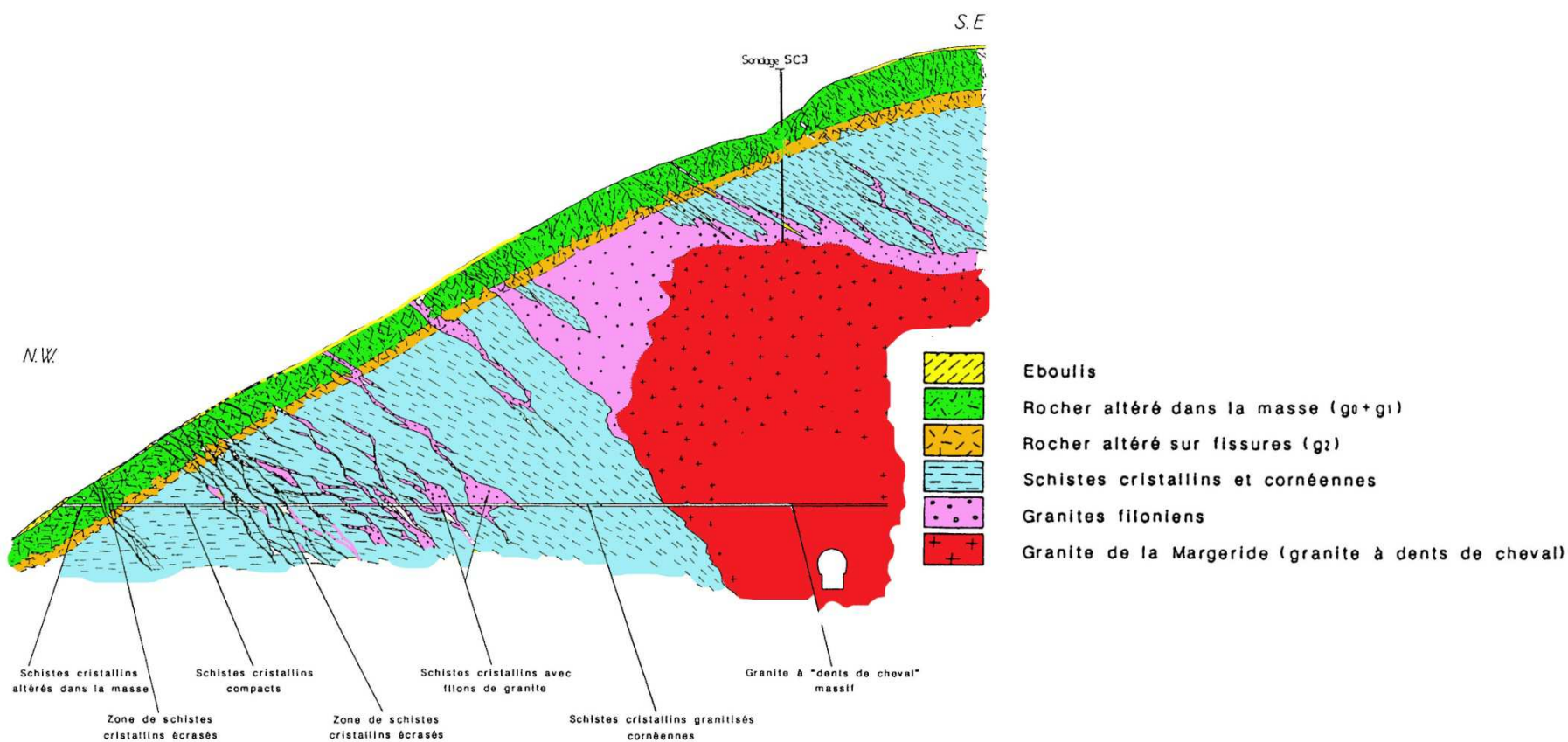
↳ Essais d'eau HP en cavernes et en forages (Montezic, Revin ...)

↳ Essais d'eau HP en sondages  
(Sarenne, St Guillerme II, Orлу, Nam-Theun)

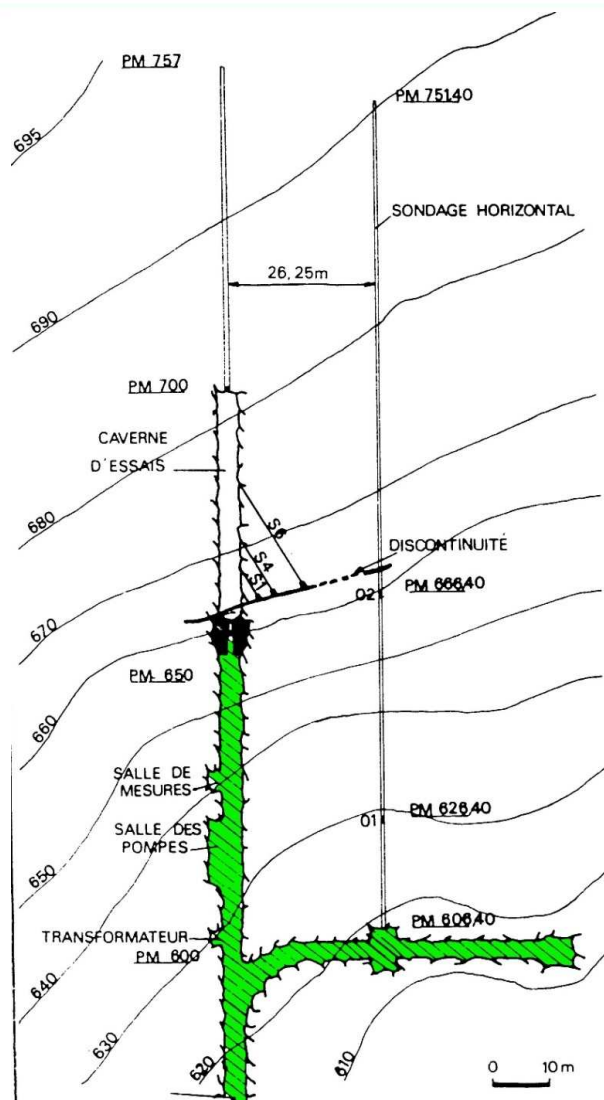
↳ *Pour la étermination de la longueur de blindages à poser*

# GALERIE ET USINE DE MONTEZIC

Coupe géologique dans un plan vertical montrant le batholite granitique

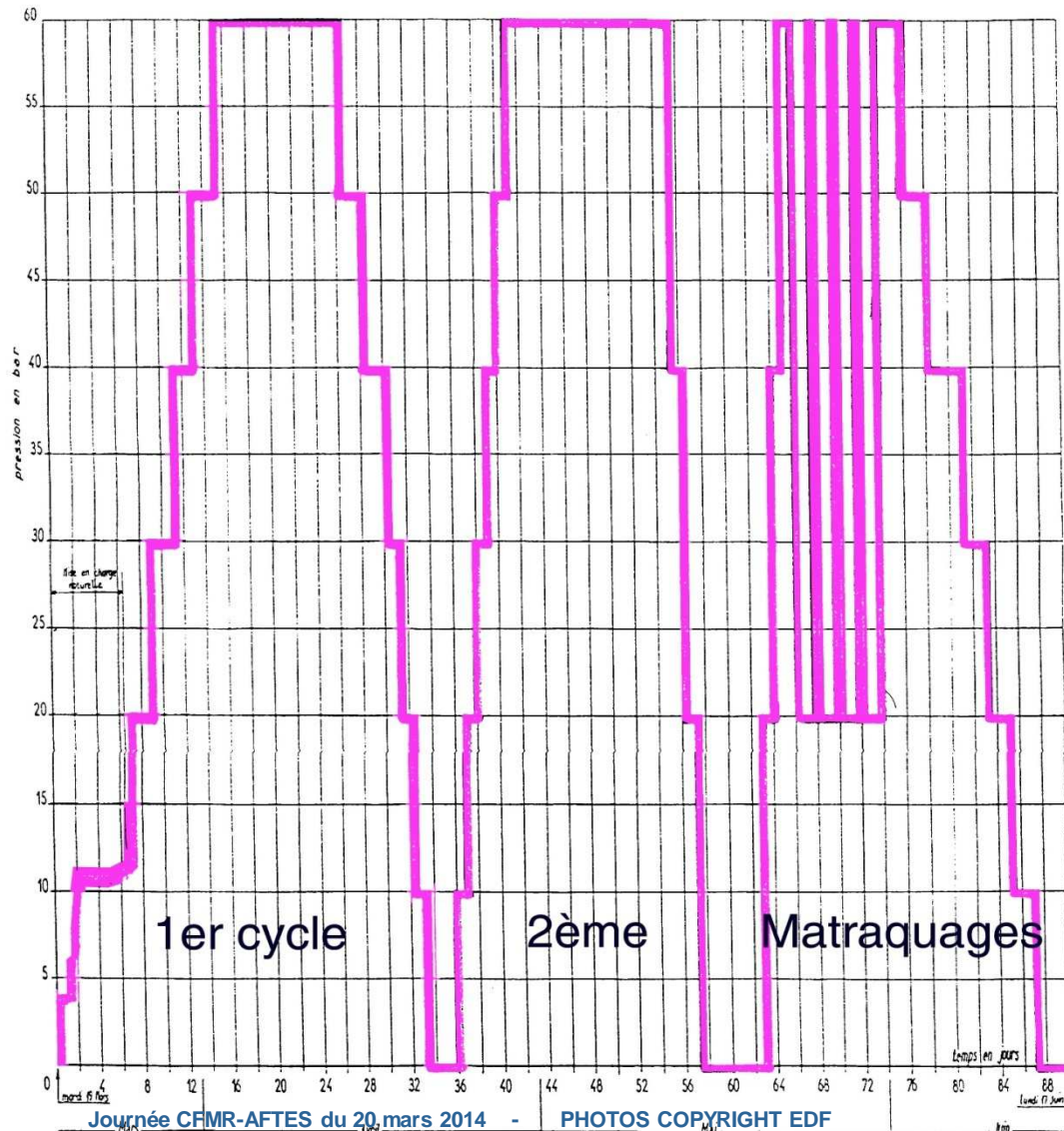


# USINE DE MONTEZIC



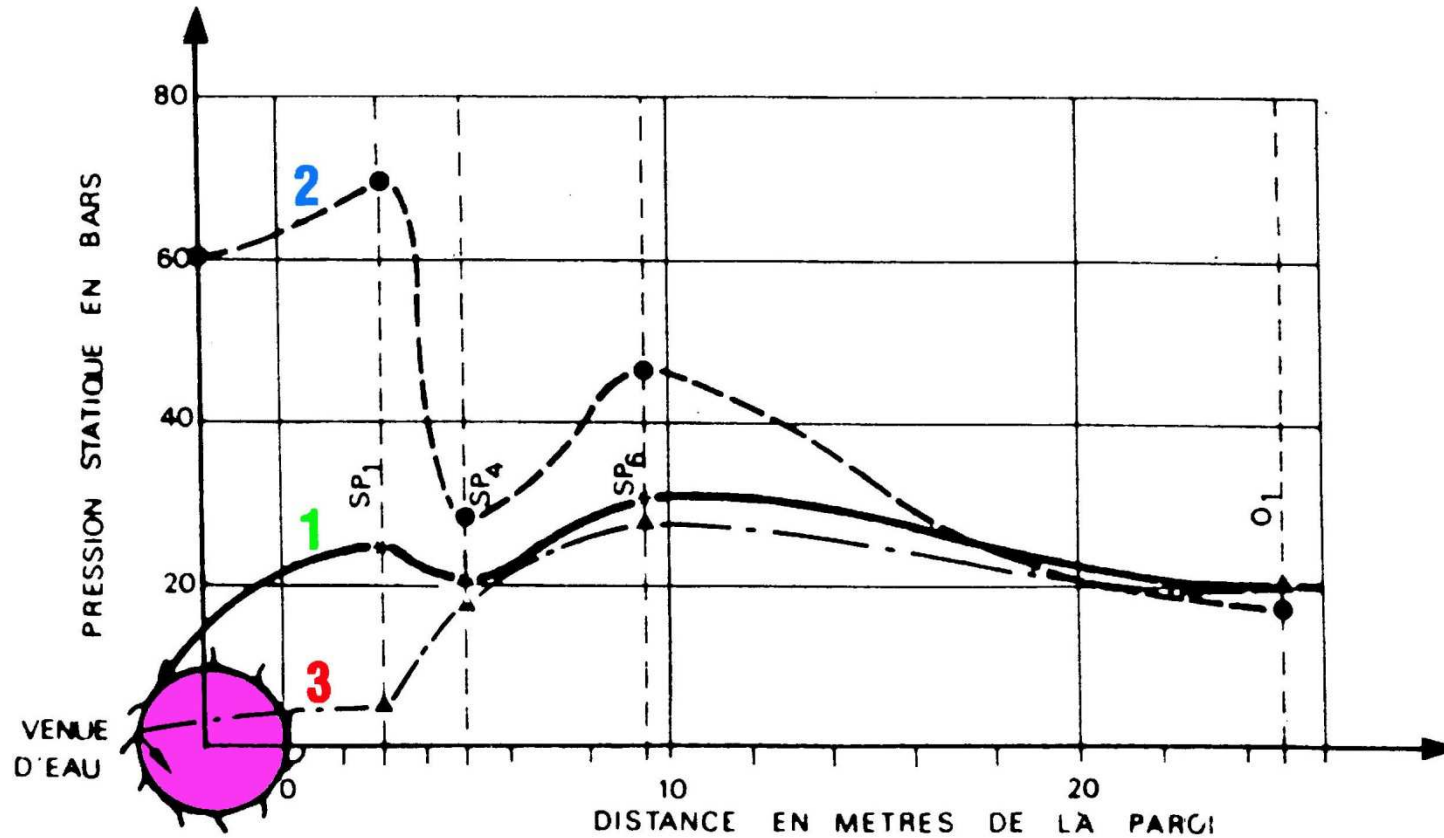
## *SCHÉMA DE L'ESSAI DE CAVERNE*

# USINE DE MONTEZIC - CAVERNE D'ESSAI PROGRAMME DE MISE EN PRESSION



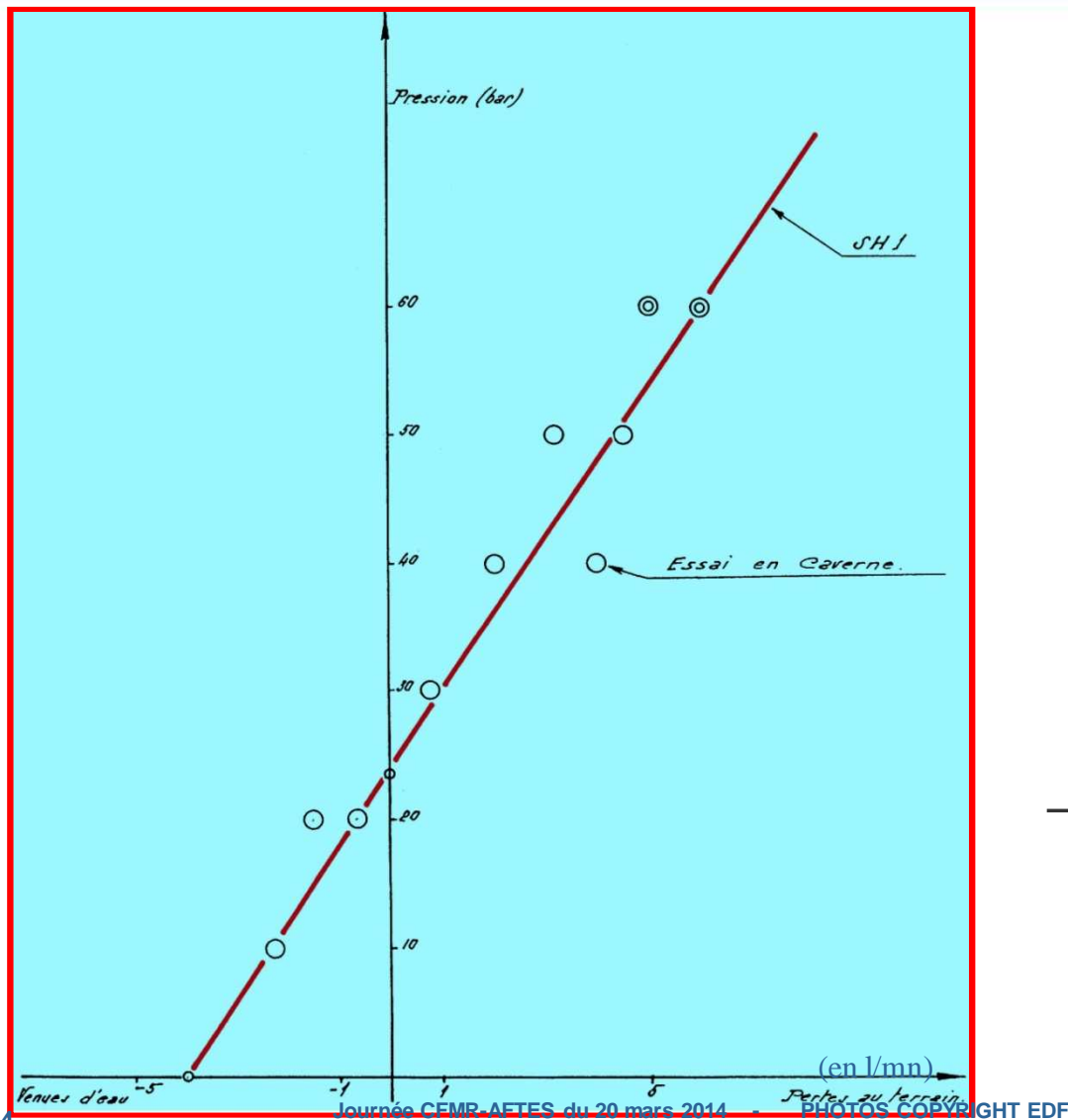
# USINE de MONTEZIC

## Mesure de l'endommagement du rocher



- (1) CAVERNE VIDE (Avant 1<sup>e</sup> remplissage)
- - - (2) P – 60 b (4<sup>e</sup> essai de matraquage)
- . - (3) FIN DES ESSAIS (Caverne vide depuis 15 jours)

# Résultat de l'essai HP de Montézic



Comparaison :  
Caverne seule  
(PM 660,50-700)  
Sondage SH1  
(PM 650-710)

→ **Pas d'effet d'échelle !**

# ETANCHEITE NATURELLE DU MASSIF TESTEE POUR LE PROJET D'ORLU

## PROJET D'ORLU

Rocher excellent.

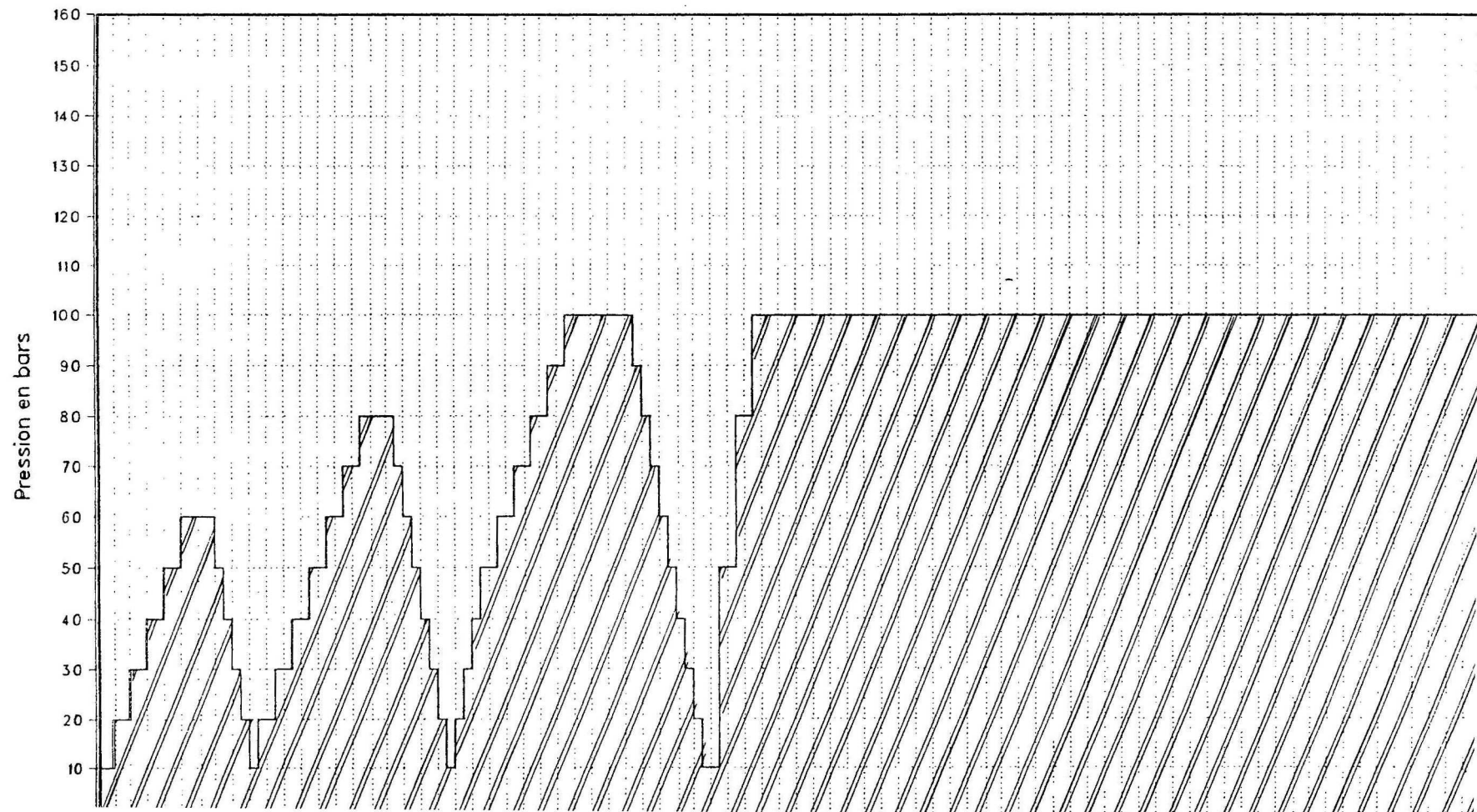
$E = 20\ 000\ \text{MPa}$  (jq  $40\ 000\ \text{MPa}$ )

Contrainte minimale mesurée pour le projet d'usine: autour de 6 Mpa. Hauteur de chute envisagée jusqu'à 1 000 m. Condition de nappe phréatique non remplie.

L'étanchéité de la galerie en charge ne pouvait être garantie a priori.

# ORLU PALIERS D'INJECTION 95m-125 m

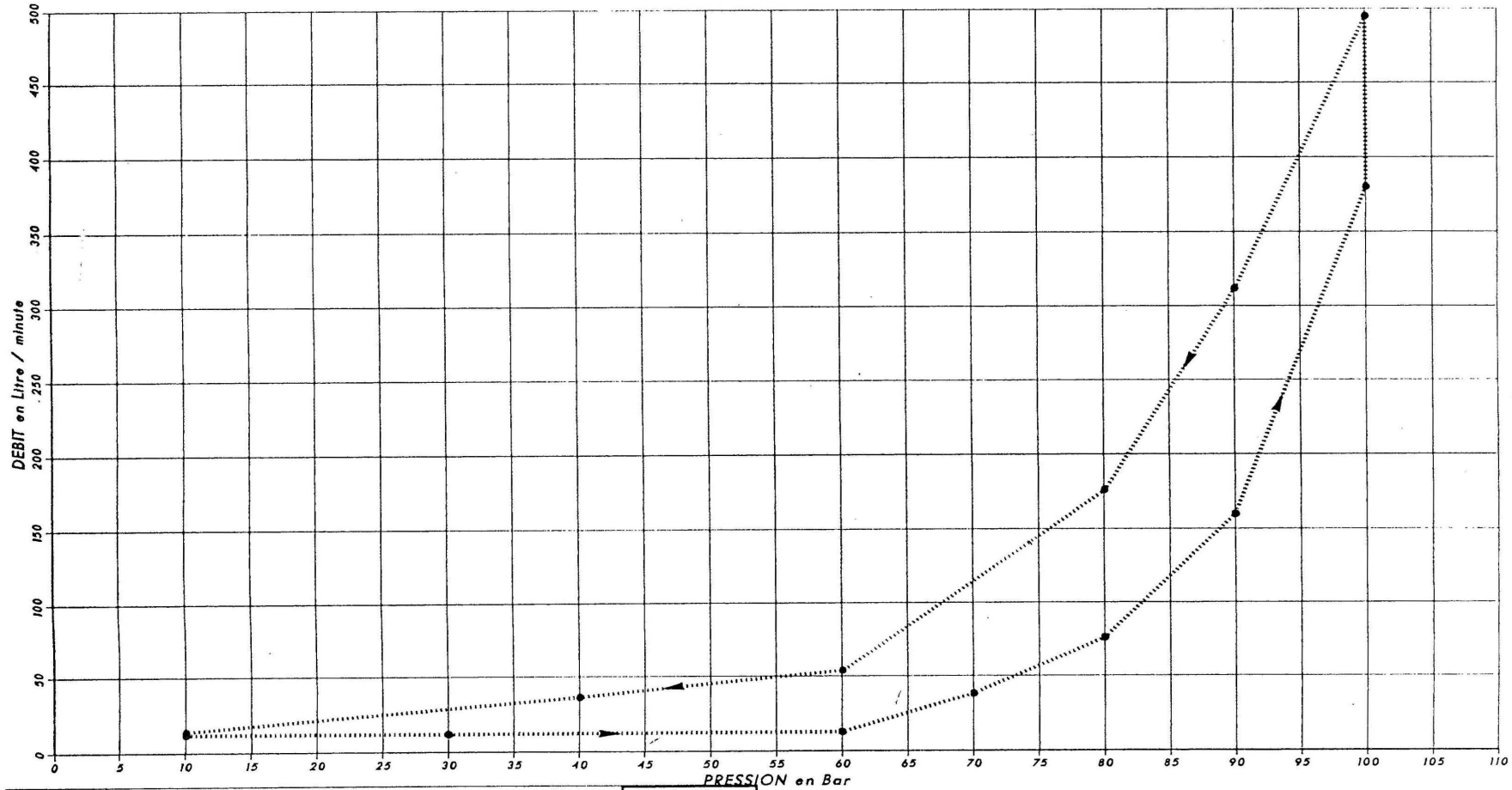
D G G R E A M  
AMENAGEMENT D'ORLU - ESSAI H.P.  
Graphique des paliers d'injection - Tranche 5 bis 95 m a 125 m





# ORLU ESSAI HP TRANCHE 95m-125 m

AMENAGEMENT D'ORLU - ESSAI H. P.  
 PALIER a 100 Bar - TRANCHE 95 a 125 m  
 Cycle 3 (apres Injection)



ELECTRICITE DE FRANCE  
 Division Geologie Geotechnique 22. 30 Av de WAGRAM 75008 PARIS

DIRECTION DE L'EQUIPEMENT  
 T E G G

Pl. 2\*21  
 Dess. *ET*  
 Verif. *ET*



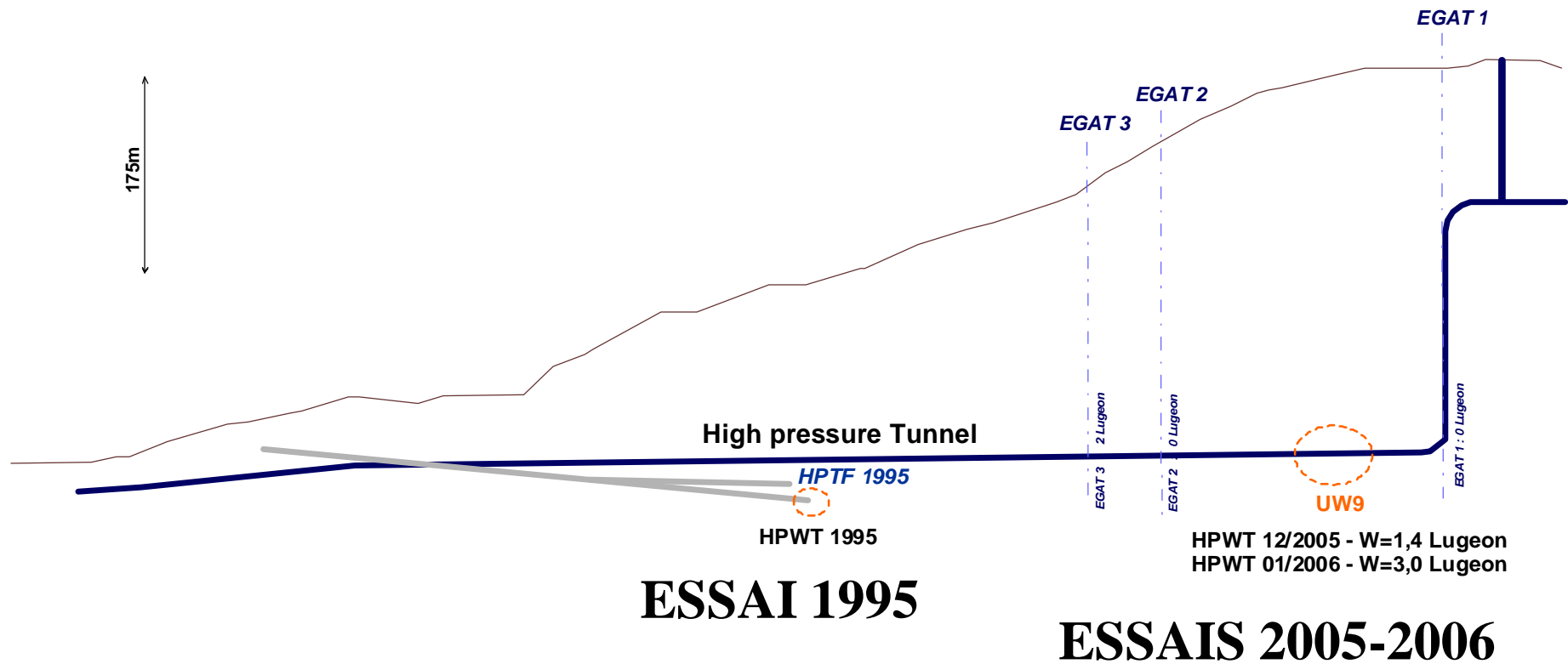
## ETANCHEITE NATURELLE DU MASSIF TESTEE POUR LE PROJET D'ORLU

ESSAI HP →  $Q = 100$  l/min au-delà d'une pression d'injection de 6 MPa et augmente de façon exponentielle au-delà.

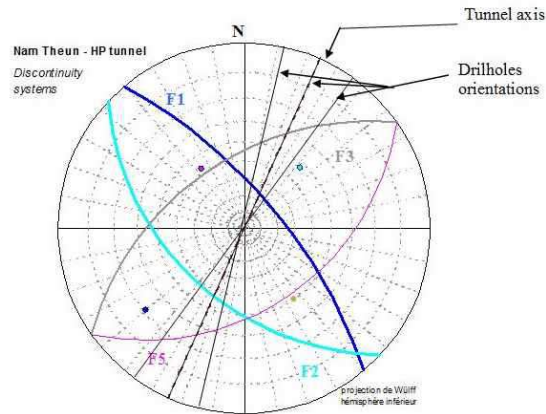
Le confinement tectonique du massif est donc insuffisant.

Si le projet est un jour réalisé, un blindage sera nécessaire dans le puits incliné dès que la pression de l'eau dans la galerie atteindra environ 5 MPa.

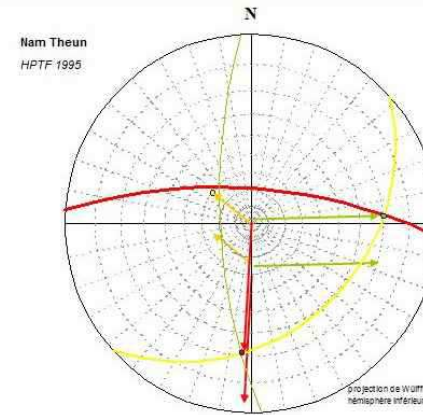
# NAM-THEUN (Laos) EMPLACEMENT DES ESSAIS HP



# Seule la famille de fractures perpendiculaires à la contrainte principale mineure est aquifère

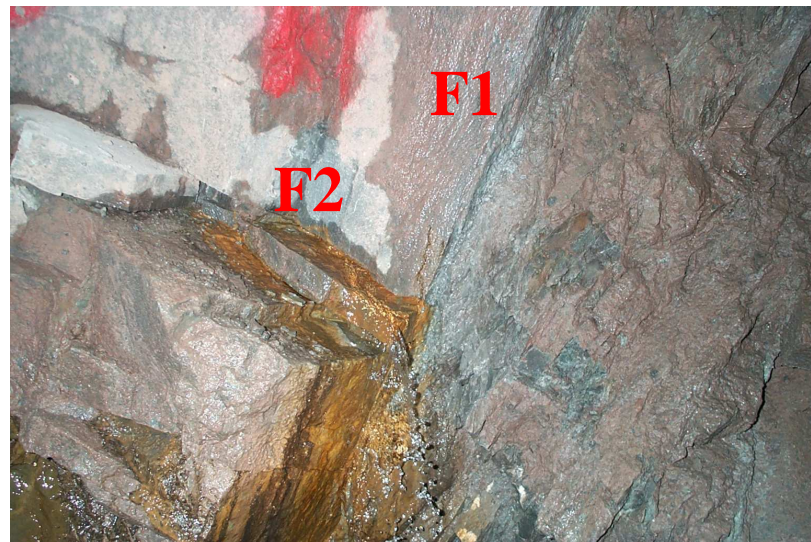


Spatial orientation of discontinuity systems (Wulff – Lower hemisphere)



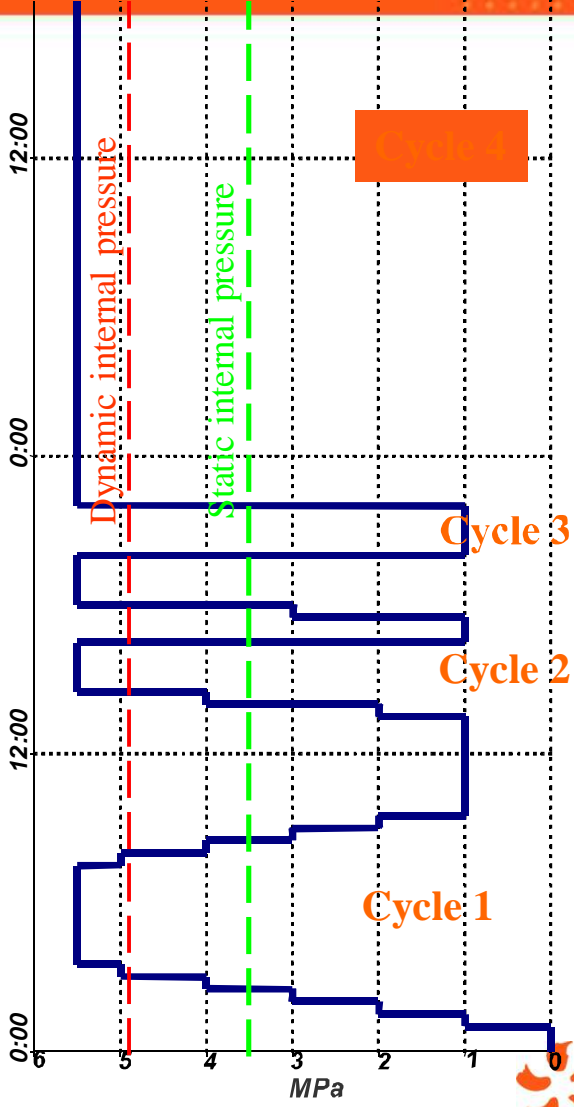
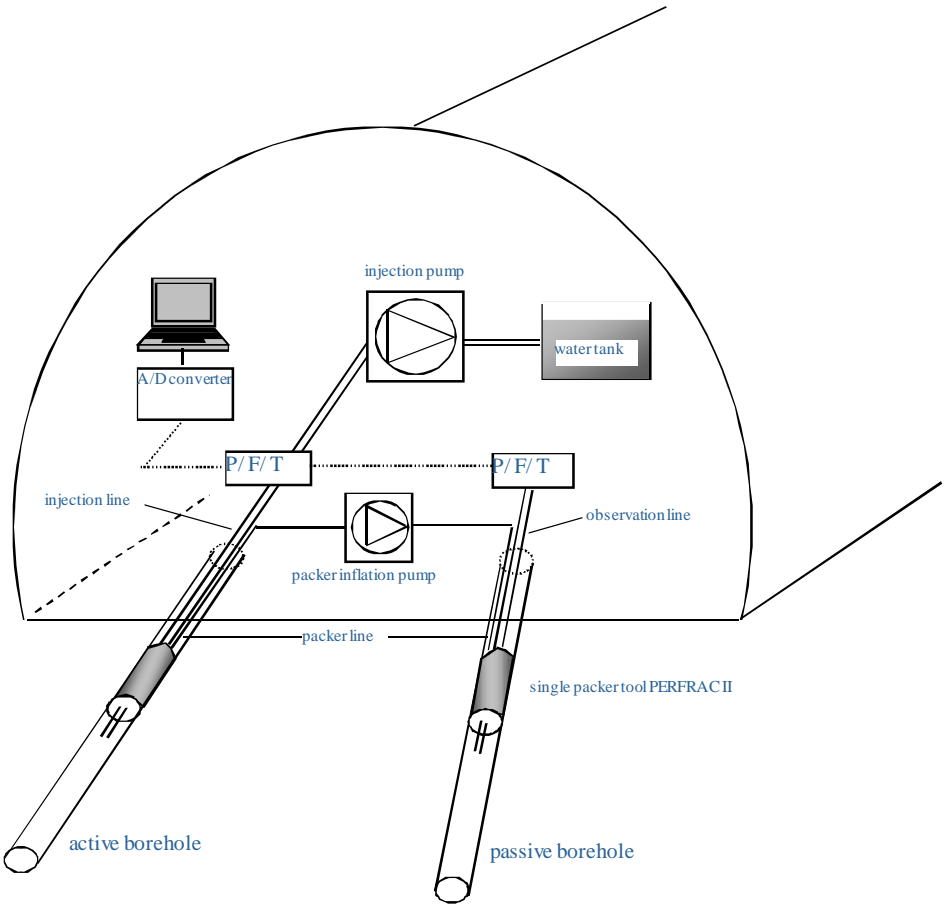
Spatial orientation of principle stresses (Wulff – Lower hemispher)

The coloured circles (red, yellow and green one) correspond to planes that are perpendicular to respectively S1, S2 and S3.



Journée CFMR-AFTES du 20 mars 2014 - PHOTOS COPYRIGHT EDF

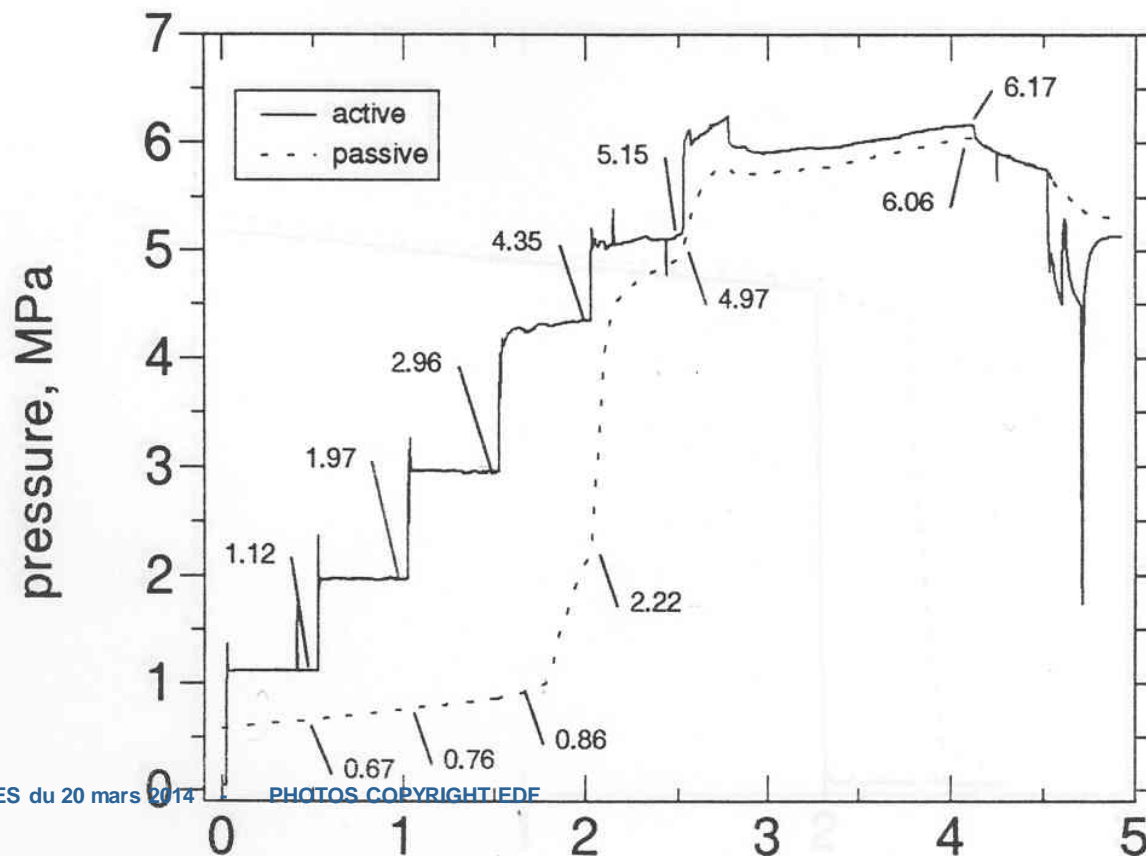
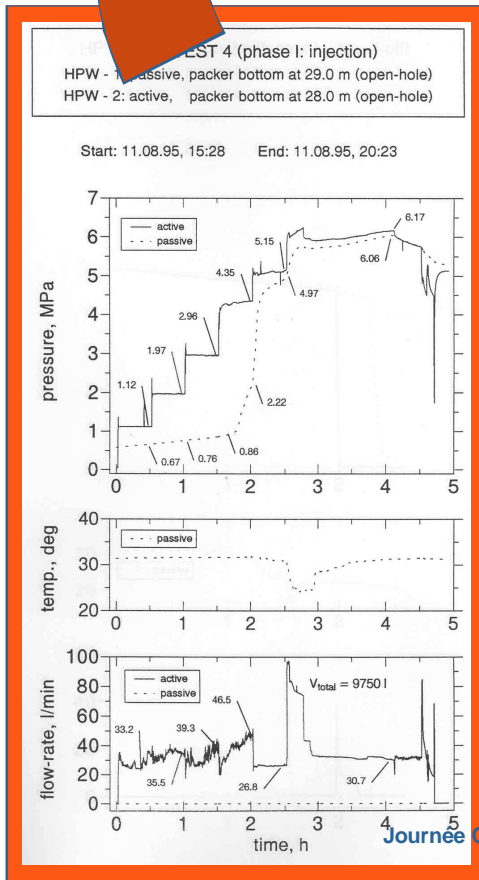
# NAM-THEUN CONCEPTION DES ESSAIS



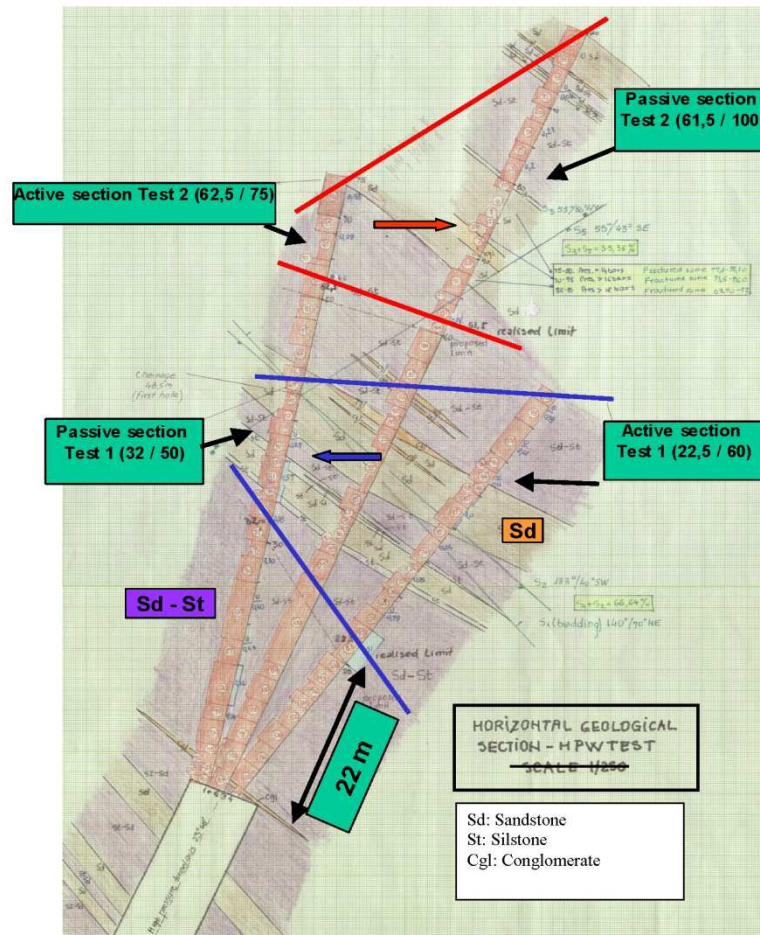
# HPW – 1995

HPW - TEST 4 (phase I: injection)  
 HPW - 1: passive, packer bottom at 29.0 m (open-hole)  
 HPW - 2: active, packer bottom at 28.0 m (open-hole)

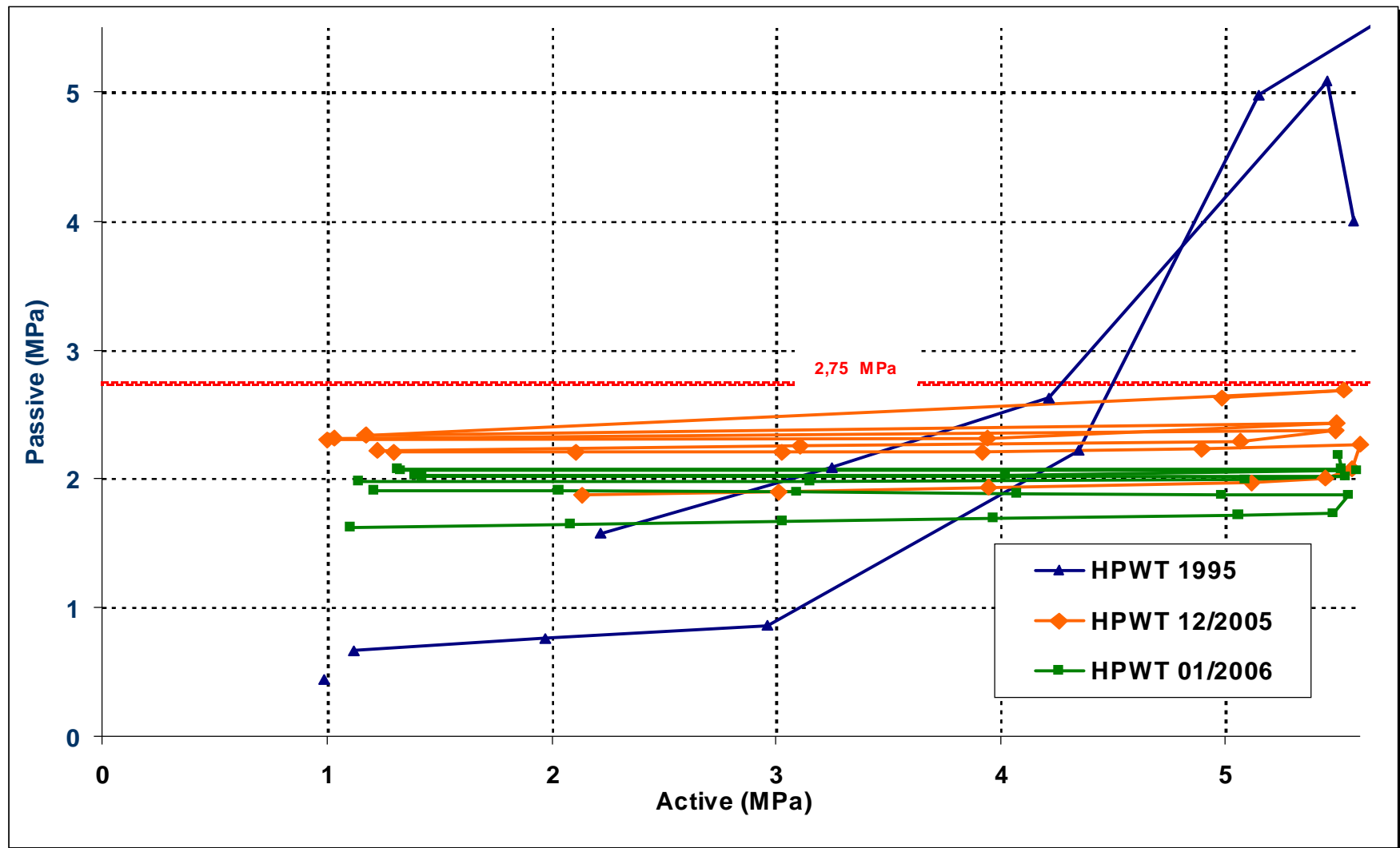
Start: 11.08.95, 15:28      End: 11.08.95, 20:23



# GEOLOGIE DE LA 2<sup>ième</sup> ZONE D'ESSAI (plus enfoncée dans le massif)

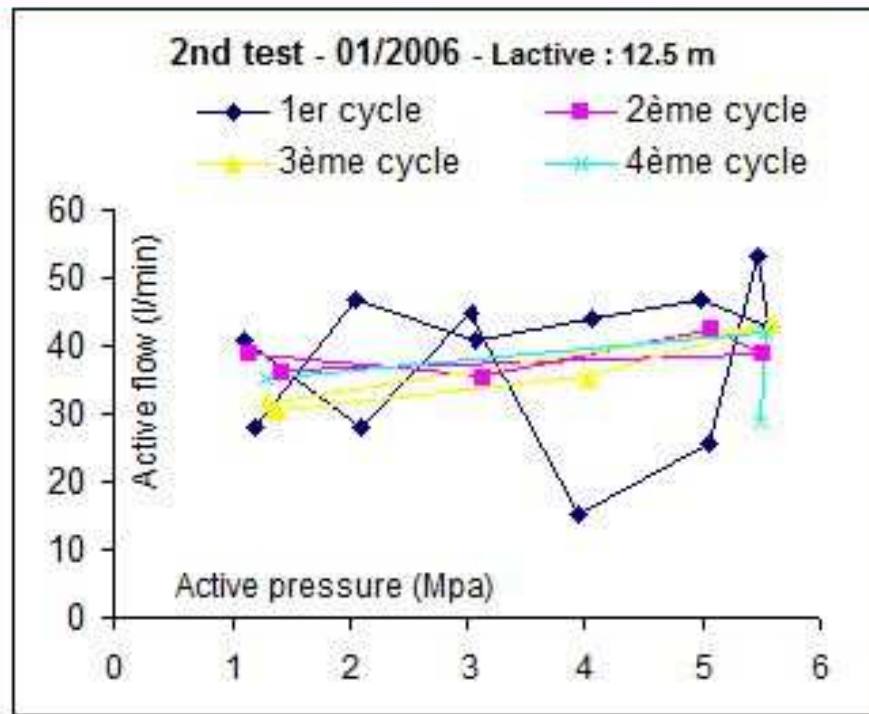
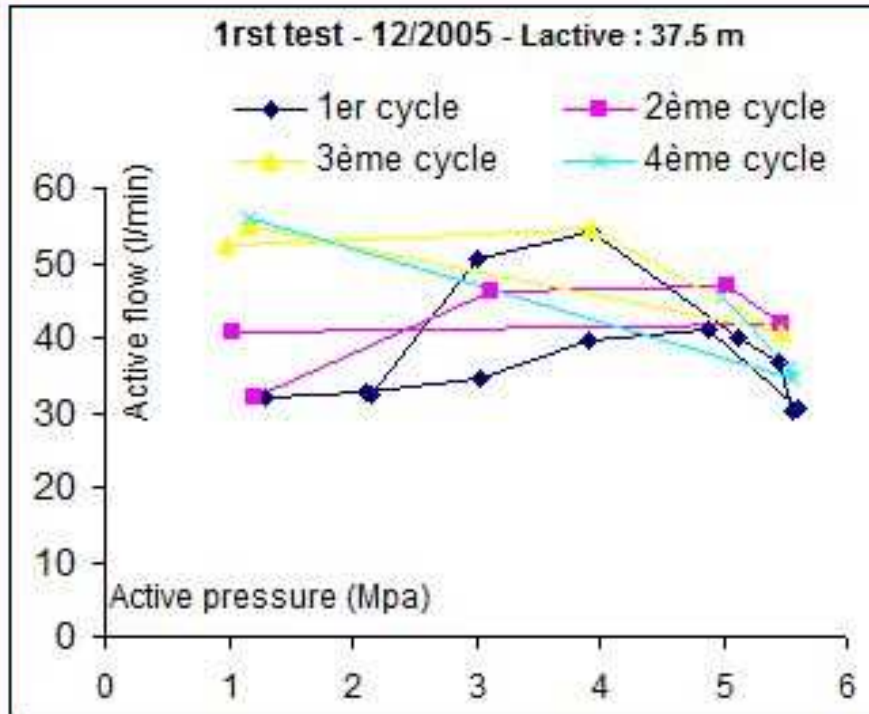


# NAM THEUN COMPARAISON DE LA PRESSION ENTRE LE SONDAGE ACTIF ET LE SONDAGE PASSIF





# DEBITS DE FUITE DU SONDAGE ACTIF



$$W = \frac{Q_{active}}{L_{active} \times P_{active}}$$

HPWT 12/2005 :

with  $L_{active} = 37,5m$

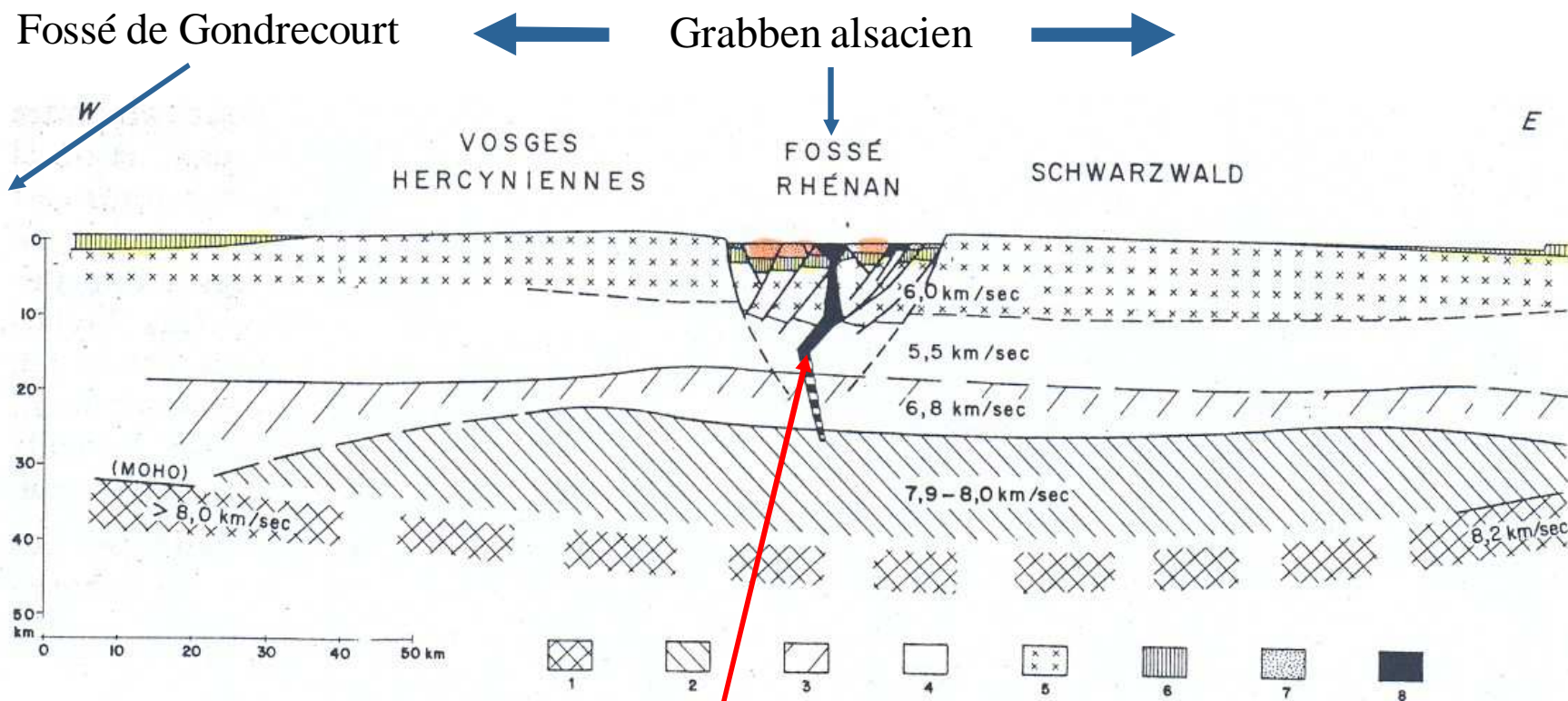
$W \leq 1,4$  Lugeon

HPWT 01/2006 :

with  $L_{active} = 12,5m$

$W \leq 3,0$  Lugeon

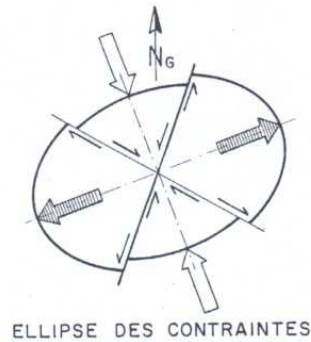
# Distention Oligocène dans l'Est de la France (- 30 Ma)



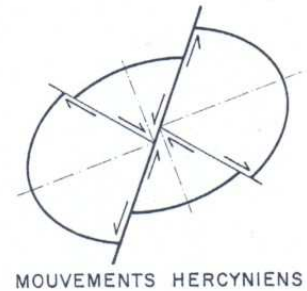
Distension → remontée de basalte → Kaiserstuhl

# LE SITE DE VIEUX-PRE EST INFLUENCE PAR LA GEOLOGIE DE LA ZONE DU GRABEN DU RHIN

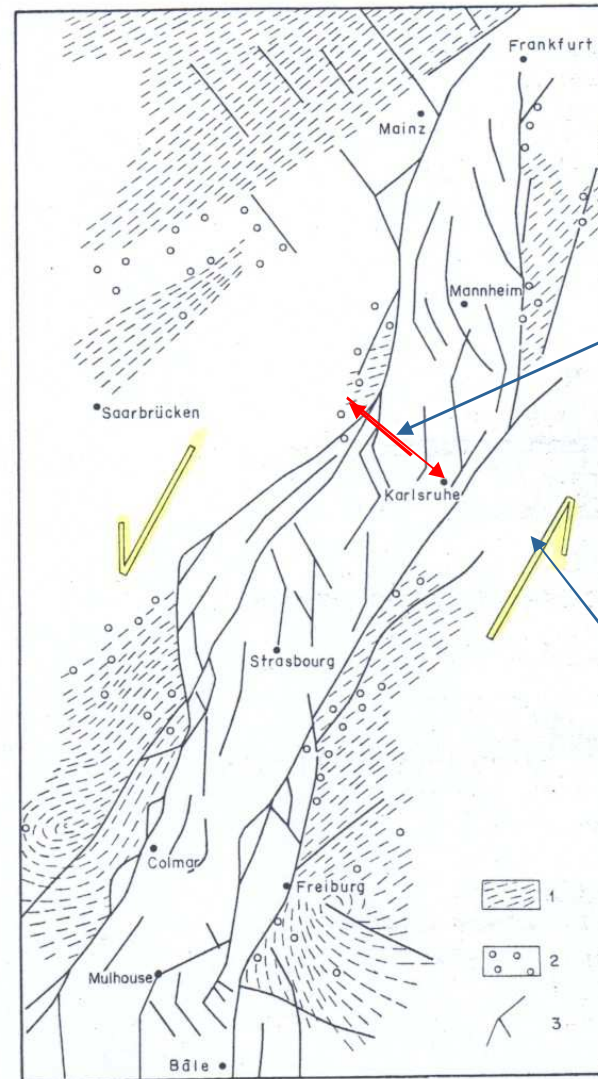
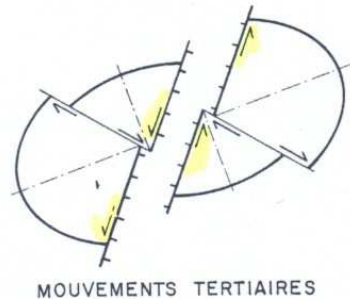
Champ de contraintes  
actuel



Décrochement  
sénestre  
hercynien



Distension  
oligocène



Résultat  
de la  
distension  
oligocène

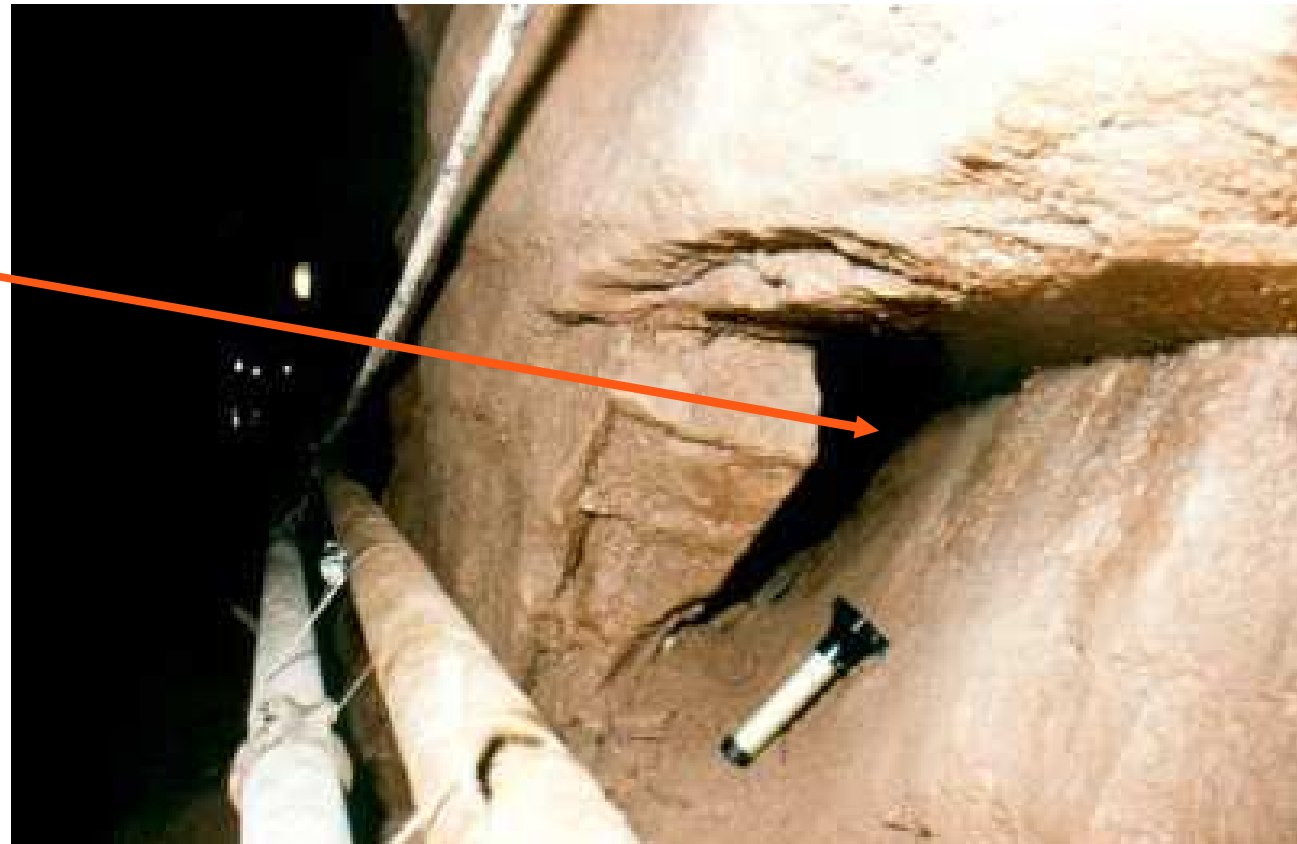
Décrochement  
sénestre actuel  
dédit des  
séismes

# VIEUX- PRE PRESENCE DE CREVASSES EN SURFACE



## ET EN PROFONDEUR CREVASSE DE LA GALERIE DE DRAINAGE RG2

CREVASSE  
DANS LE  
GRES  
A 350 m  
DE  
L'ENTREE  
DE  
GALERIE



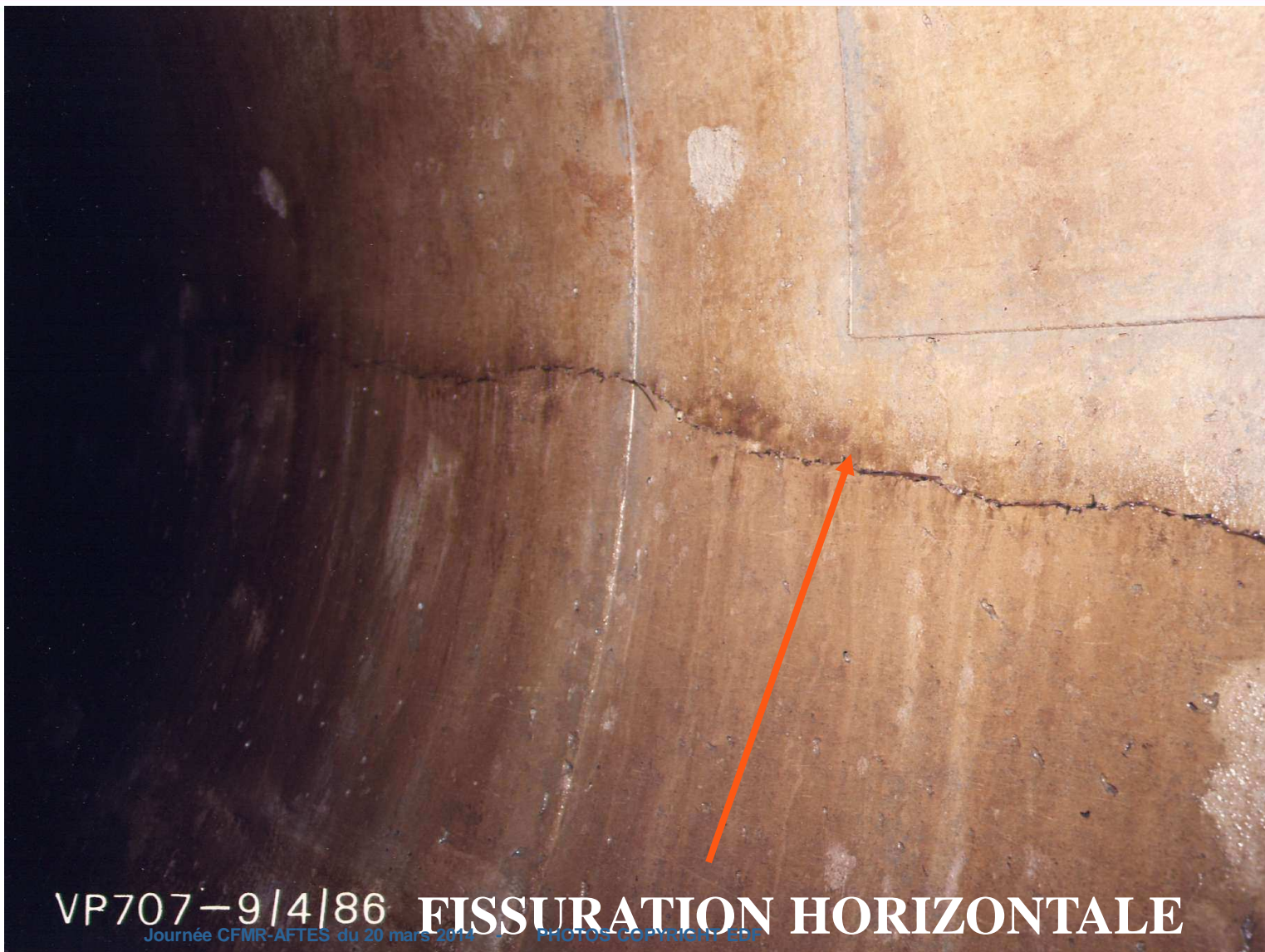
## MISE EN EAU DE LA GALERIE EN CHARGE (0,8 MPa)



# DEBUT D'EROSION DU VERSANT



# FISSURATION DU REVETEMENT DE LA GALERIE



VP707-9/4/86 FISSURATION HORIZONTALE

Journée CFMR-AFTES du 20 mars 2014 PHOTOS Copyright EDF





# INJECTION DES POISSONS ET BRINDILLES DANS LE TERRAIN « DISTENDU »



# LA GALERIE DE VIEUX PRE N'A PU ECHAPPER AU BLINDAGE DE TOUTE SA LONGUEUR !

