

# CASE HISTORIES

## Epinglage de parois rocheuses: TROOZ et THON.



Luc FUNCKEN, Direction de Géotechnique  
([luc.funcken@spw.wallonie.be](mailto:luc.funcken@spw.wallonie.be))



Journée d'étude SBGIMR – 10/03/2015  
Les techniques de clouage des parois

SPW  
Service public  
de Wallonie



# CASE HISTORIES

## Dalle rocheuse de TROOZ.



# CASE HISTORIES

## Dalle rocheuse de TROOZ.



# Dalle rocheuse de TROOZ

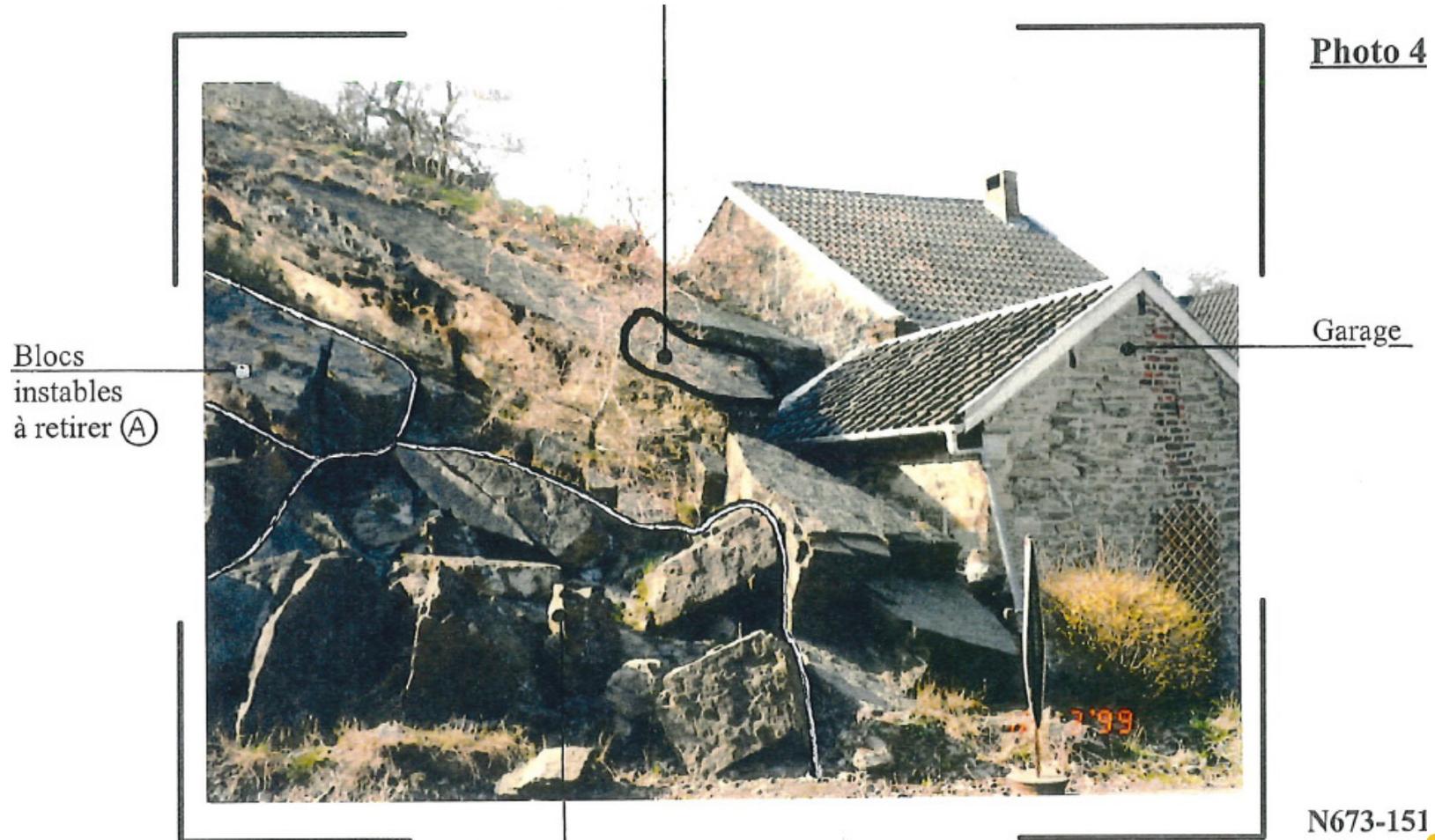
## Etude préalable

- Un éboulement s'est produit en mai 1988
- Première étude par les LGIHPG (Prof A. MONJOIE)
- L'exécution d'une tranchée en pied du talus, le long du filet d'eau, a supprimé la butée aval des bancs rocheux de grès
- Un glissement s'est produit selon un joint de stratification sur un niveau mince de siltites micacées très altérées
- Une réaction en chaîne vers le haut s'est produite entraînant la chute de nombreux blocs
- Une consolidation provisoire a été réalisée en surplomb du garage au moyen de barres en acier cimentées dans des trous de forages perpendiculairement aux bancs
- Une masse d'environ 1000 m<sup>3</sup> peut encore glisser sur le joint de stratification



# Dalle rocheuse de TROOZ.

Vue générale de l'éboulement



# Dalle rocheuse de TROOZ.

Vue détaillée du bloc conforté à l'arrière du garage.



# Dalle rocheuse de TROOZ

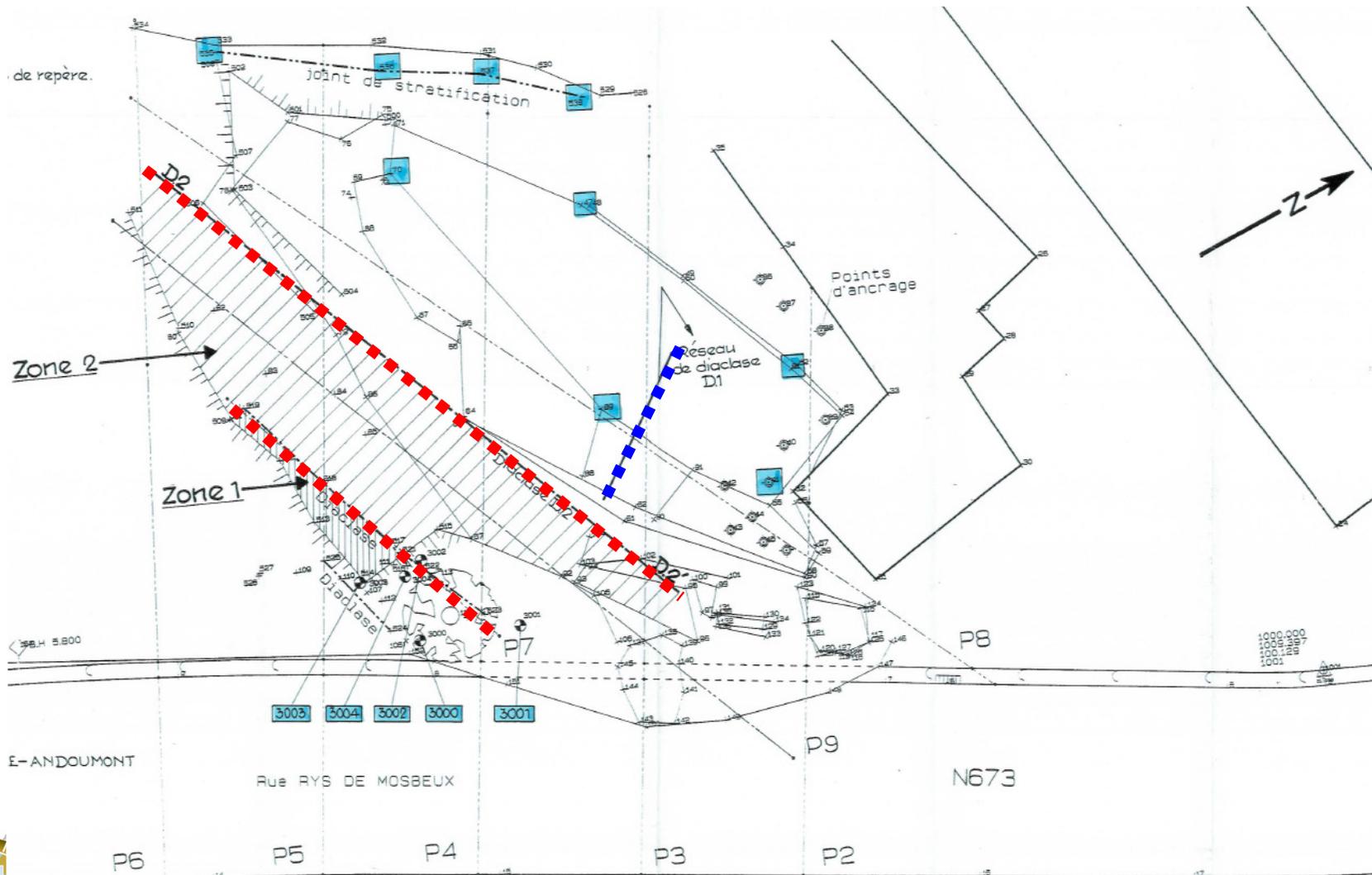
## Etude complémentaire

- Intervention en 1999 du M.E.T. sur demande du Ministre Michel LEBRUN
- Préconisation de mesures de confortement au moyen d'ancrages passifs
- La solution d'un mur de soutènement n'est pas retenue, car elle nécessiterait la réalisation d'une tranchée pour les fondations, qui aurait un effet déstabilisant pour le pied du massif rocheux
- Des préconisations particulières sont imposées pour la réalisation des forages
  - - Forage par carottage et pas au marteau fond de trou (vibrations)
  - - Utilisation d'un polymère à la place de l'eau pour éviter la lubrification du joint de stratification



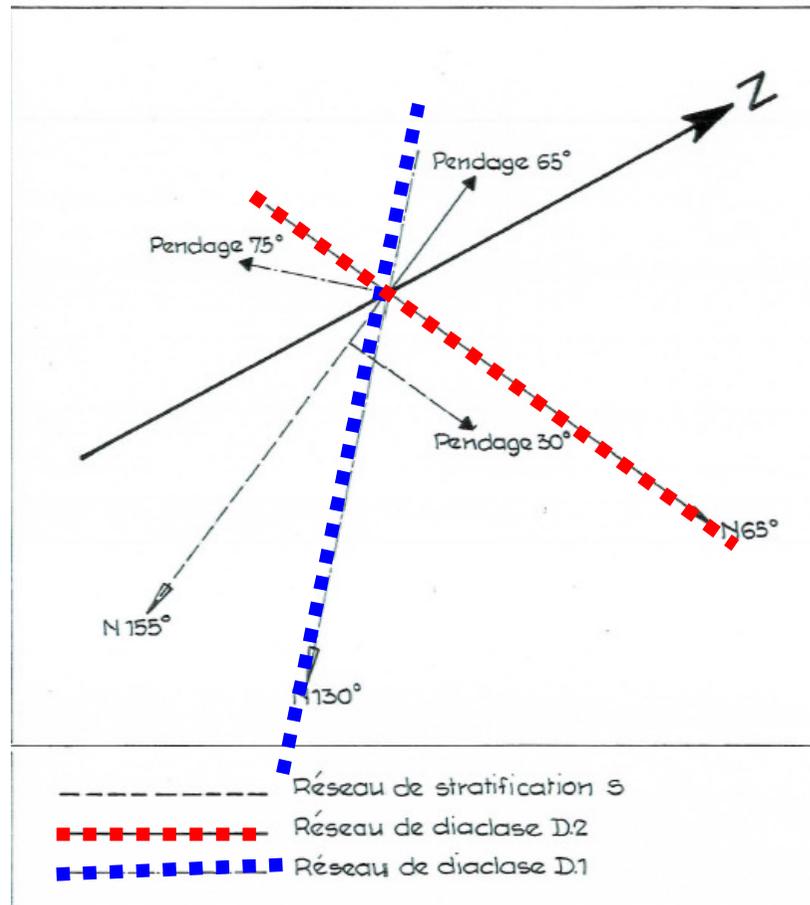
# Dalle rocheuse de TROOZ.

Levé topographique détaillé



# Dalle rocheuse de TROOZ.

## Orientations et pendages



	Direction	Pendage
Réseau de stratification, S	N 155°	30° (Est)
Réseau de diaclase 1, D1	N 130°	75° (Ouest)
Réseau de diaclase 2, D2	N 65°	65° (Nord)



# Dalle rocheuse de TROOZ.

- Sur base du glissement survenu, on peut supposer que le coefficient de sécurité sur ce plan était inférieur à 1
- Le coefficient de sécurité sur un plan glissement peut se calculer de la manière suivante

La contrainte verticale due à la gravité pour un banc rocheux de hauteur  $h$  (m), de densité  $\rho$  ( $t/m^3$ ), sur un plan de glissement de plus grande pente  $= \alpha$ , est donnée par :

$$\sigma = (h * \rho) / \cos \alpha \text{ (t/m}^2\text{)} \quad \boxed{1}$$

On peut alors calculer les composantes normales  $\sigma_n$  et tangentielles  $\sigma_t$  fonction de l'angle d'inclinaison de pente d'un glissement déterminé,  $pe$

$$\sigma_n = \sigma * \cos pe \quad \text{(t/m}^2\text{)} \quad \boxed{2}$$

$$\sigma_t = \sigma * \sin pe \quad \text{(t/m}^2\text{)} \quad \boxed{3}$$

le coefficient de sécurité sur ce plan de glissement d'angle  $pe$  vaut :

$$s = \tau / \sigma_t = (c + \sigma_n * \tan \phi) / \sigma_t \quad \boxed{4}$$

avec :  $c$  étant la cohésion caractéristique du joint en  $t/m^2$ ,  
et  $\phi$  étant l'angle de frottement interne en degré, caractéristique du joint.



# Dalle rocheuse de TROOZ.

## Détermination du couple C et phi

- En considérant le bloc rocheux de 1,20 m d'épaisseur et de 2,7 t/m<sup>3</sup>
- Le pendage des couches de 30°
- Calcul d'un couple de valeurs pour c et Phi pour obtenir un coefficient de sécurité de 1
- Le couple retenu, représentatif du type de joint est:  $c = 1,1 \text{ t/m}^2$  et phi est pris égal à 11°



# Dalle rocheuse de TROOZ.

Glissement en coin selon le réseau de diaclase D1 et le joint de stratification.

- Existence du réseau de diaclase D1
- Existence du joint de stratification J
- Risque d'un glissement en coin selon J et D1
- Calcul du coefficient de sécurité « s » selon la formule de « E. LOUSBERG »

$$s = (\sin \beta * \tan \phi) / (\sin(\xi/2) * \tan i_i) \quad \boxed{5}$$

Avec :  $\phi$  = l'angle de frottement interne du joint.

$i_i$  = l'angle par rapport à l'horizontale de la ligne d'intersection des deux plans de glissement.

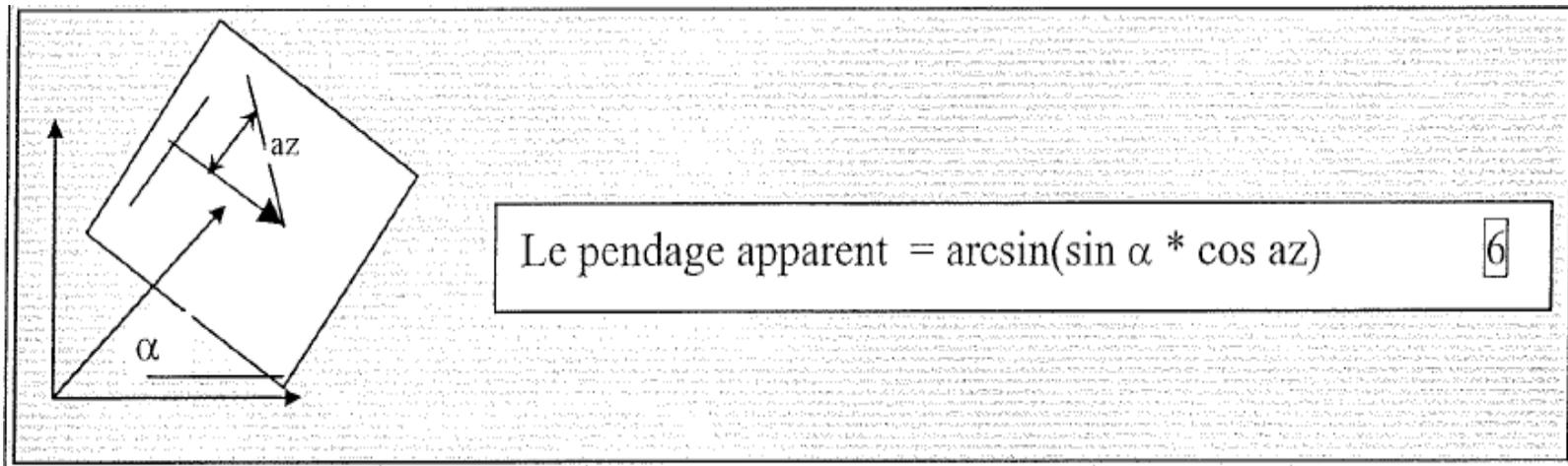
$\beta$  et  $\xi/2$  sont déterminés en fonction des pentages des intersections des deux plans de glissement avec le plan  $P_p$  (perpendiculaire à la droite d'intersection entre les deux plans de glissement).



# Dalle rocheuse de TROOZ.

Glissement en coin selon le réseau de diaclase D1 et le joint de stratification.

- **Pendage apparent d'une couche de plus grande pente  $\alpha$**
- **Calcul en fonction de l'angle  $az$  entre le droite de plus grande pente et celle du pendage apparent**



# Dalle rocheuse de TROOZ.

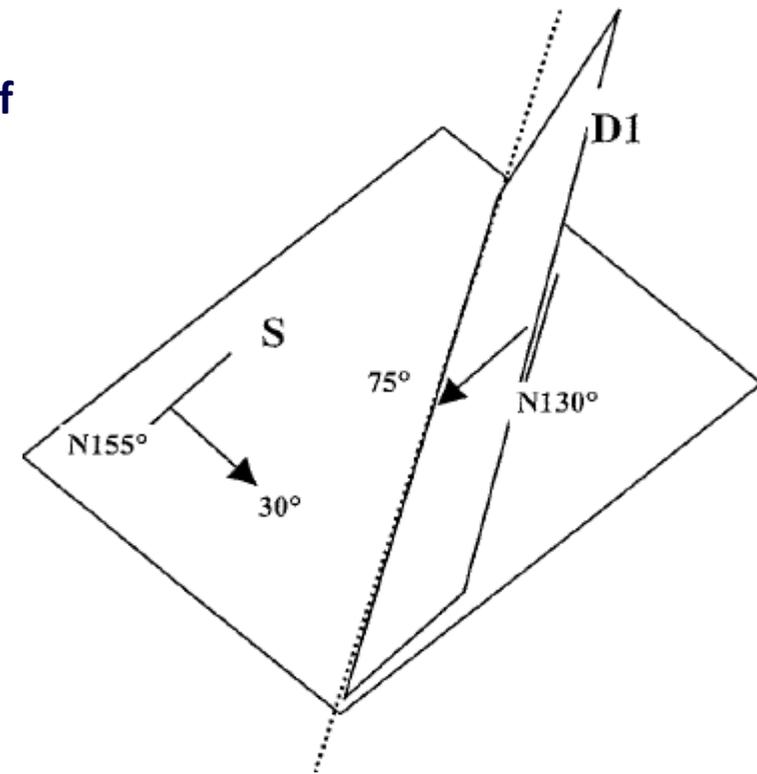
## Représentation schématique du dispositif

**S = plan de stratification :**

- Pente  $30^\circ$  est
- direction  $N155^\circ$

**D1 : réseau de diaclase :**

- Pente  $75^\circ$  Est
- direction  $N130^\circ$



- Détermination du pendage de l'intersection des deux plans avec l'horizontale :  $i_1 = 8,2^\circ$
- Grâce à la formule du pendage apparent, ont déterminé les angles plans entre cette intersection et la plus grande pente des plans :
- $az1 = 73,5^\circ$  et  $az2 = 81,5^\circ$



# Dalle rocheuse de TROOZ.

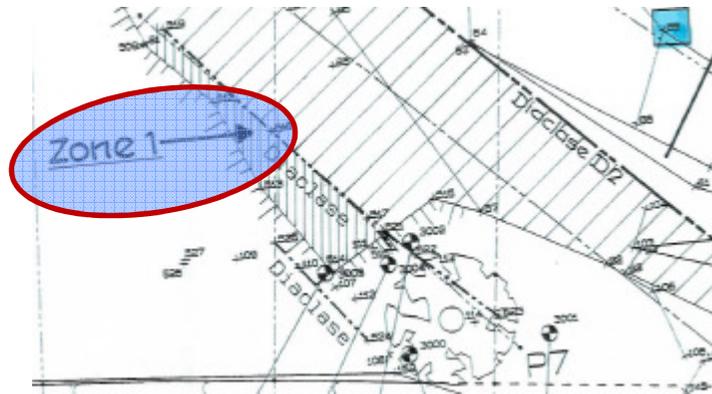
Glissement en coin selon le réseau de diaclase D1 et le joint de stratification.

- On obtient après calcul en remplaçant  $\beta$  et  $\xi/2$
- dans la formule précédent  $s = (\sin \beta * \tan \phi) / (\sin(\xi/2) * \tan i_j)$
- $S = 1,97 \rightarrow$  il n'y a pas de risque de glissement.



# Dalle rocheuse de TROOZ.

Glissement en coin selon le réseau de diaclase D2 et le joint de stratification. (ZONE 1)



- Epaisseur du banc rocheux : 2,50 m
- Avec :  $c = 1,1 \text{ t/m}^2$  et  $\phi$  est pris égal à  $11^\circ$

➤ on obtient  $s = \tau / \sigma_t = (c + \sigma_n \cdot \tan \phi) / \sigma_t = 2.41 / 3.90 = 0.62.$

➤ Comme le massif reste en place, → indétermination pessimiste sur  $c / \phi$ . A l'équilibre on a que  $\tau$  égal au moins à  $\sigma_t = 3.9 \text{ t/m}^2$

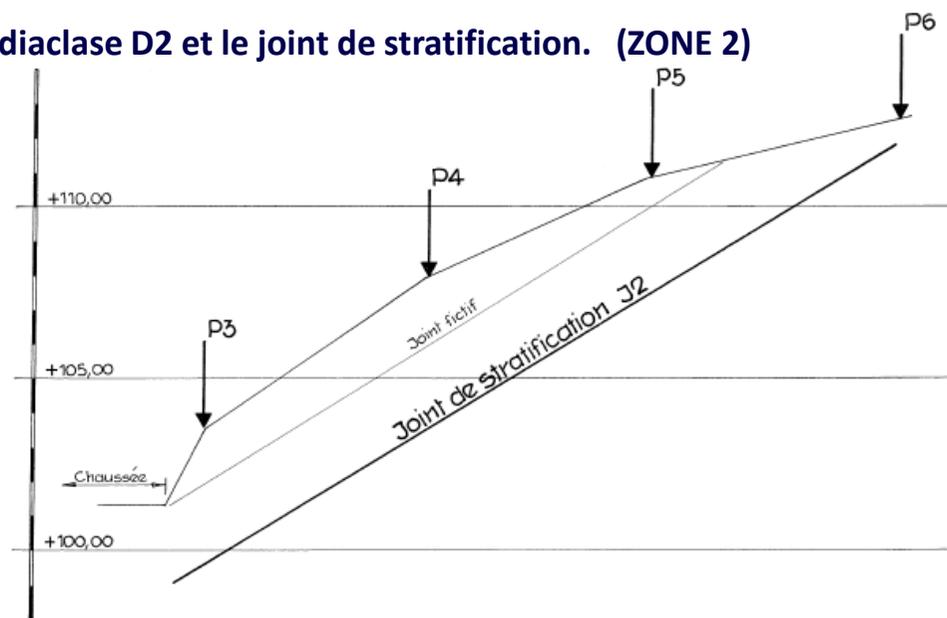
➤ Si on veut  $s = 1,3$ , il faut reprendre au moyen d'ancrages passifs :  $0.3 * 3.90 \text{ t/m}^2 = 1.17 \text{ t/m}^2$

➤ Surface de la zone 2 =  $22,5 \text{ m}^2$ , l'effort tranchant à reprendre  $1.17 \text{ t/m}^2 * 22.5 \text{ m}^2 = 26.33 \text{ t.}$



# Dalle rocheuse de TROOZ.

Glissement en coin selon le réseau de diaclase D2 et le joint de stratification. (ZONE 2)



➤ Pour la zone 2, on considère le massif déstabilisant situé au dessus d'un joint fictif

➤ En prenant le même raisonnement que précédemment

➤ On obtient  $s = 0,78$ , il faut reprendre au moyen d'ancrages passifs :  $0,3 * 2,49 \text{ t/m}^2 = 0,75 \text{ t/m}^2$

➤ Surface de la zone 2 =  $90 \text{ m}^2$ , effort tranchant à reprendre :  $0,75 \text{ t/m}^2 * 90 \text{ m}^2 = 67,5 \text{ t}$



# Dalle rocheuse de TROOZ.

## Calcul des ancrages

- Choix d'ancrages travaillant en cisaillement pur.

Type d'ancrage	Diamètre des ancrages (mm)	Section (mm <sup>2</sup> )	Charge admissible par ancrages (t)
1	40	1256	3.13
2	50	1963	4.9

- Nombres d'ancrages par zones

Type d'ancrage	Diam. (mm)	Section (mm <sup>2</sup> )	Charge par ancrages (t)	Zone 1	Zone 2
				Effort à reprendre (t)	
				26.33	67.5
				Nombre d'ancrages	
1	40	1256	3.13	9	22
2	50	1963	4.9	6	14



# CASE HISTORIES

## Paroi rocheuse de THON



**Situation: Rive droite de la Meuse juste en aval du pont de Namêche.**



# CASE HISTORIES

## Paroi rocheuse de THON.



# Paroi rocheuse de THON : Etude préalable

- Réalisation d'une étude technique contre les éboulements rocheux de Thon
- Etude réalisée par la Centre d'Etude Technique de Lyon (CETE) en collaboration avec Direction de la Géotechnique
- L'étude a démontré des risques d'instabilités potentielles liées essentiellement à la structure du massif et son altération
- Mesures de protection préconisées:
  - - Confortements ponctuels : ancrages, grillages plaqués, filets pendants
  - - Protection linéaires : écrans pare-pierre, pare-blocs, new-jersey,...



# Paroi rocheuse de THON : Etude préalable



# Paroi rocheuse de THON : Etude préalable



Les techniques de clouage des parois – SBGIMR – 10/03/2015

## Paroi rocheuse de THON : Etude préalable



# Paroi rocheuse de THON : Etude préalable



# Paroi rocheuse de THON :

## Définition des risques d'éboulements rocheux

- La détermination des aléas et des risques d'éboulements est faite par traitement individuel d'ensemble potentiellement instables
- On fait référence aux notions de probabilité d'occurrence et de délai de réalisation utilisée dans le réseau CETE (France).

Probabilité d'occurrence (notion qualitative)	
très élevée (te) :	la non réalisation de l'événement serait considérée comme exceptionnelle
élevée (e) :	la probabilité de réalisation de l'événement est plus élevée que la probabilité de non-réalisation
modérée (m) :	la probabilité de réalisation de l'événement est équivalente à la probabilité de non-réalisation
faible (f) :	la probabilité de non-réalisation de l'événement est plus élevée que la probabilité de réalisation
très faible (tf) :	la réalisation de l'événement serait considérée comme exceptionnelle

Délai d'occurrence	
immédiat (i) :	risque immédiat
très court terme (tct) :	dans les 2 ans
court terme (ct) :	dans les 10 ans
moyen terme (mt) :	dans les 30 ans
long terme (lt) :	au delà des 30 ans



# Paroi rocheuse de THON :

## Détermination des zones instables sur base de l'aléa.

- Pour l'ensemble des zones étudiées, 5 types d'aléa d'éboulement ont été distingués en fonction du volume initial mis en jeu
  
- **1**
  - - Aléa modéré à moyen terme, à très élevé à très court terme.
  - - Pierres < à 0.1 m<sup>3</sup>
  - - Aléa permanent du fait de l'altération de la roche
  - - Aléa propagation jusqu'aux infrastructures est modéré à élevé
  
- **2**
  - - Aléa modéré à moyen terme, à très élevé à court terme.
  - - Pierres 0.1 m<sup>3</sup> à 1 m<sup>3</sup> (production de blocs de 0.1 à 0.5 m<sup>3</sup>)
  - - Aléa propagation jusqu'aux infrastructures est très élevé
  
- **3**
  - - Aléa faible à moyen terme, à très élevé à court terme.
  - - Pierres 1 m<sup>3</sup> à 10 m<sup>3</sup> (production de blocs de 1 à 2 m<sup>3</sup>)
  - - Aléa propagation jusqu'aux infrastructures est très élevé



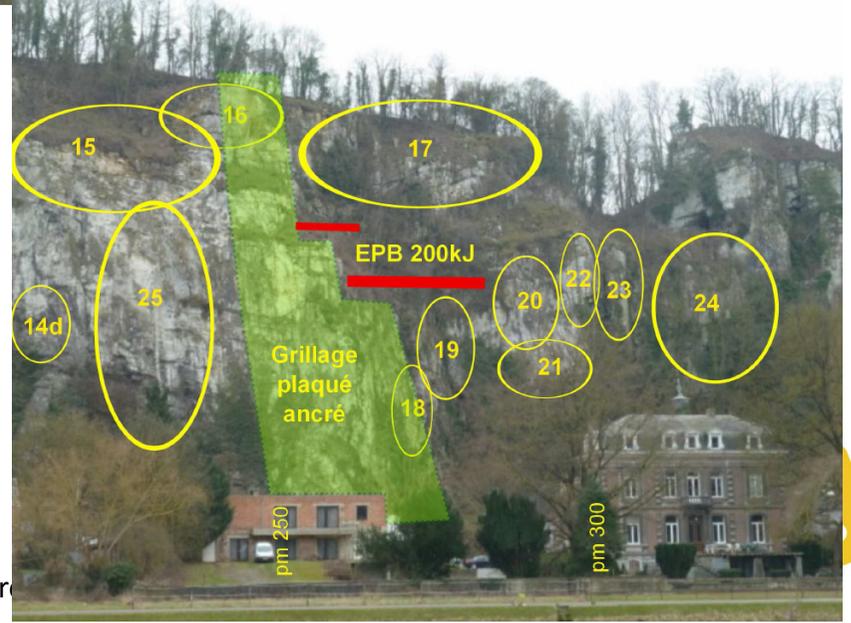
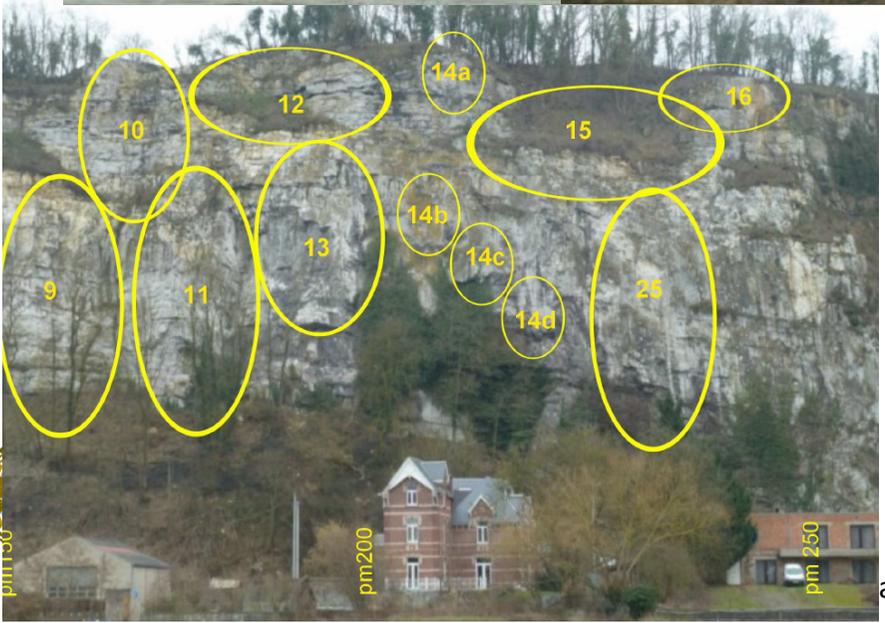
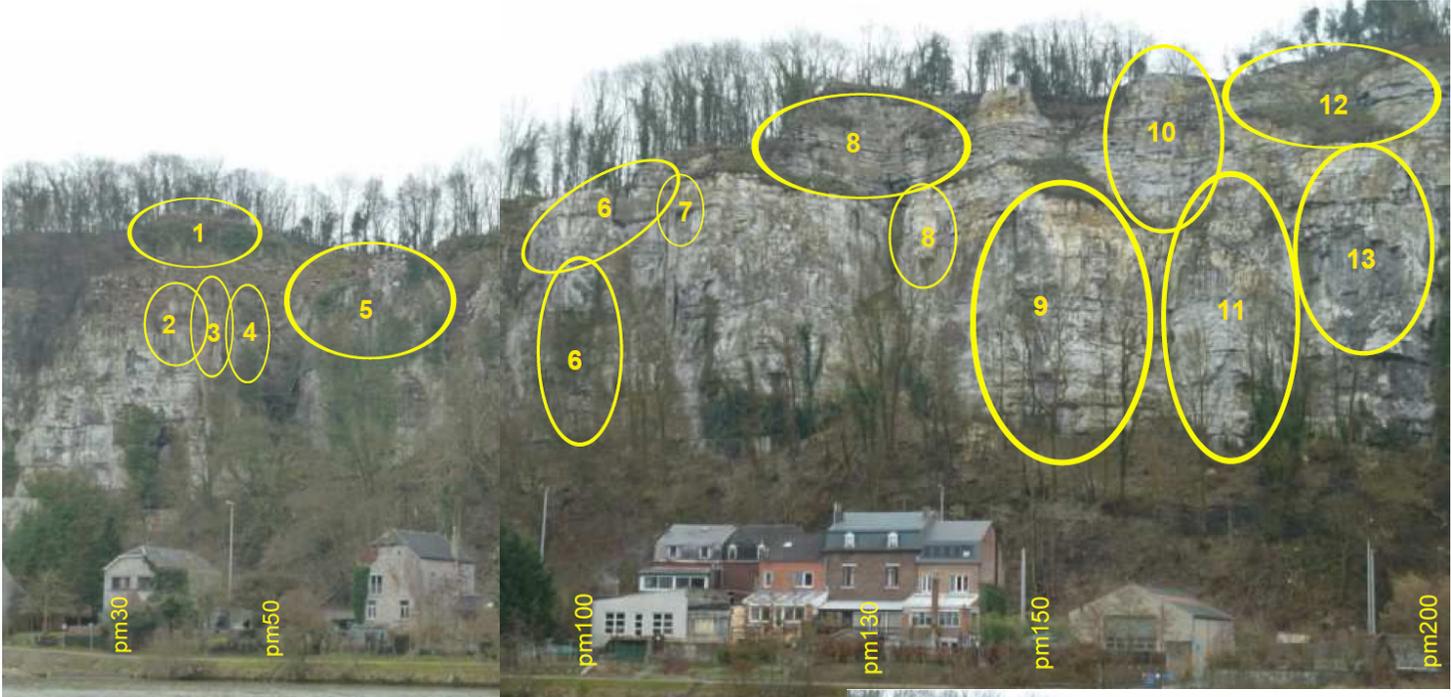
# Paroi rocheuse de THON :

## Détermination des zones instables sur base de l'aléa.

- **4**
- - Aléa faible à très élevé à moyen terme.
- - Pierres 10 m<sup>3</sup> à 100 m<sup>3</sup> (production de blocs > à 5 m<sup>3</sup>)
- - Aléa propagation jusqu'aux infrastructures est très élevé
  
- **5**
- - Aléa très faible à élevé à moyen terme.
- - Pierres 100 m<sup>3</sup> à 1000 m<sup>3</sup>
- - Production de blocs > à 10 m<sup>3</sup> voire > à 100 m<sup>3</sup> pour la masse de 1000 m<sup>3</sup>
- - Aléa propagation jusqu'aux infrastructures et habitation est très élevé
  
- Situation des différentes zones ainsi déterminées sur plan
  
- D'une manière générale la protection de la route et des habitations peut être assurée, pour l'essentiel, par la mise en place d'écran pare-blocs, fosse de réception avec merlon d'arrêt
  
- Par ancrages passifs / Grillages plaqué ancré / Filets métalliques plaqués ancrés



# Paroi rocheuse de THON :



# Paroi rocheuse de THON :

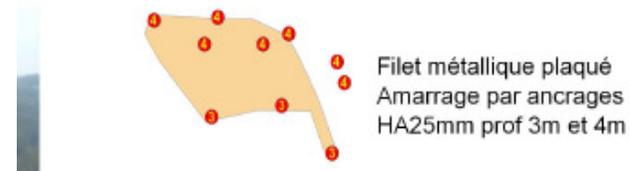
## Mesures de protection par ancrages passifs

- Ancrage haute adhérence (HA) nuance FeE500 ou S670
- Tête d'ancrage protégée par peinture anti-rouille
- Impératifs sur les inclinaisons et directions
- Barres scellées sur le longeur par injection du coulis par le fond par canule

5 Ancrages FeE500 diam. 25mm - Prof. 5m



A1-15 - Ensemble Z7 - Masse de 30m3 à stabiliser par ancrage passif

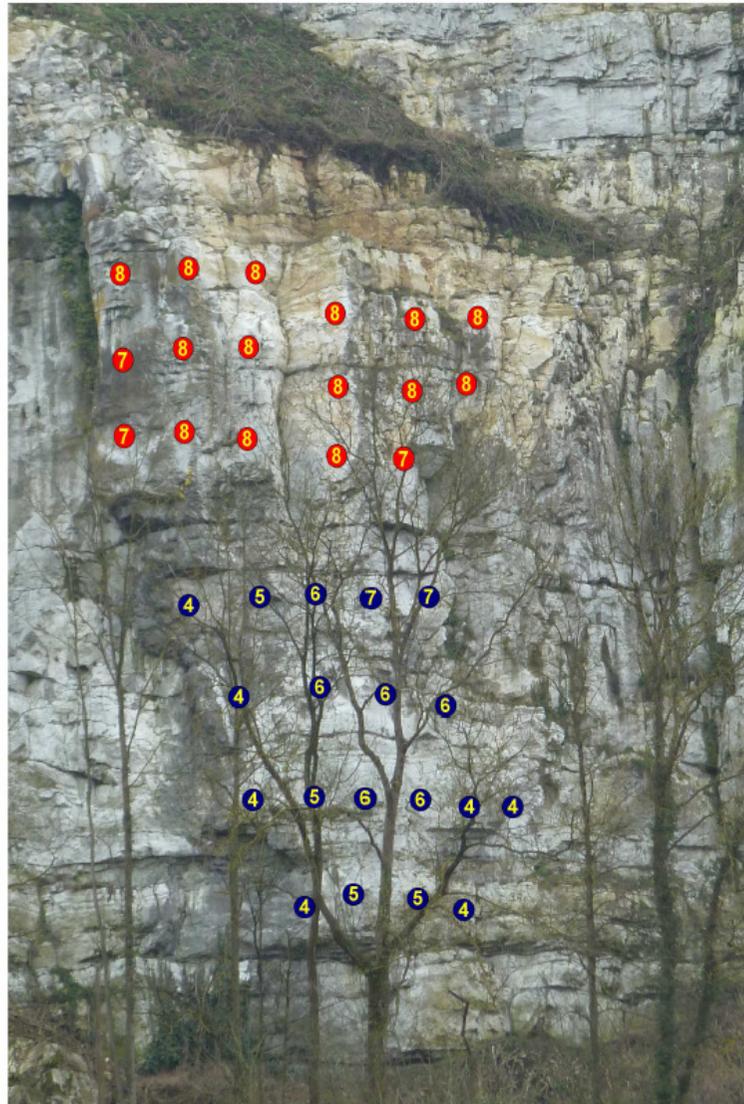


A1- 27 - Ensemble Z13 - Détail de l'écaillage latérale droite à stabiliser par filet métallique plaqué et ancrage.



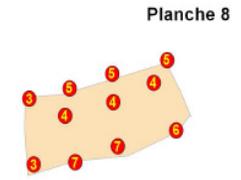
# Paroi rocheuse de THON :

7 8 Ancrages S670 diam. 57.5mm - Prof. 7 et 8m  
4 5 6 7 Ancrages S670 diam. 43mm - Prof. 4, 5, 6 et 7m



A1 21 - Compartiment Z9 - Stabilisation par ancrage passif

## action par ancrages passifs

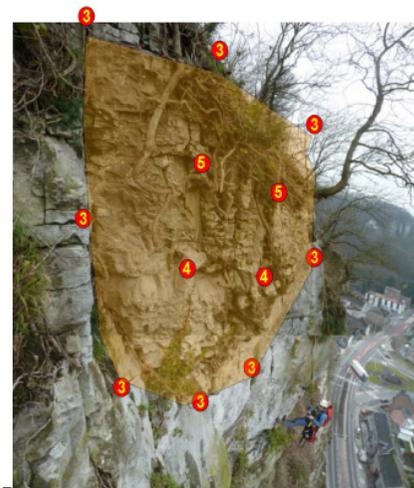


Filet métallique plaqué  
Amarrage par ancrages  
HA25mm prof 3, 5, 6 et 7m



Stabilisation des masses par  
ancrages HA25mm  
3, 4, 5, 6 et 7m

A1- 28 - Ensemble Z13  
Ecaille principale de 30m<sup>3</sup>  
à stabiliser par ancrage  
et écaille supérieure à  
stabiliser par filet  
métallique plaqué ancré.



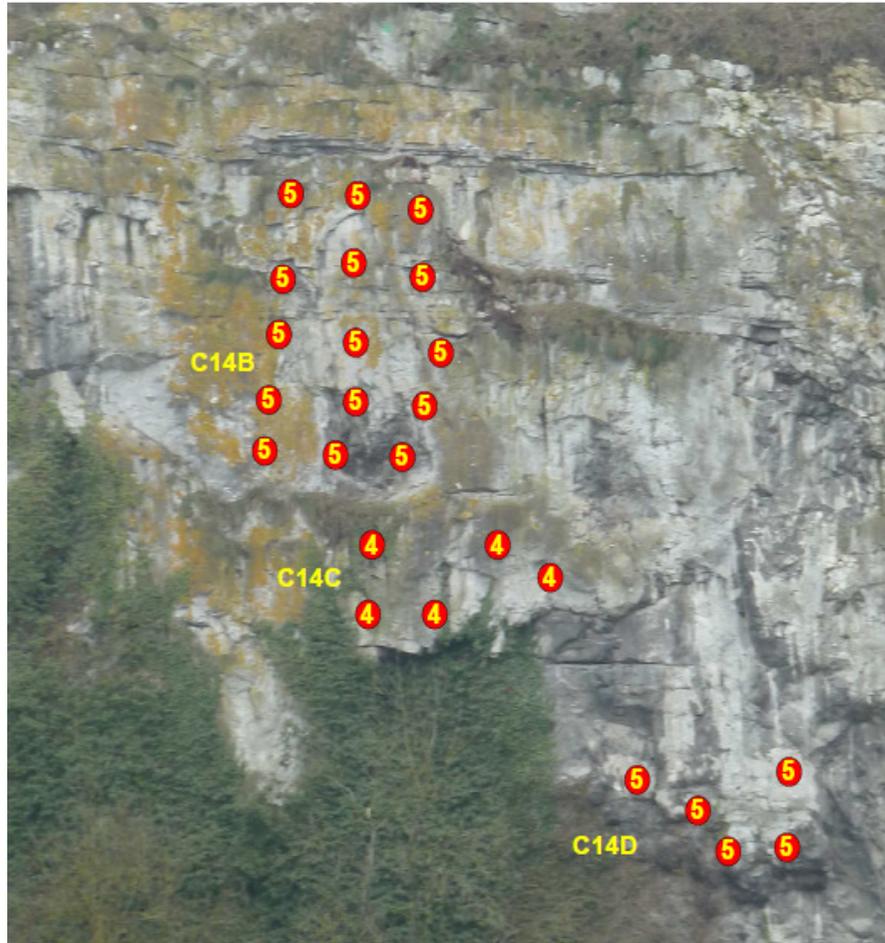
Filet métallique plaqué. Amarrage  
par ancrages HA25mm prof 3m.  
Stabilisation de la masse par  
ancrages HA25mm prof. 4m et 5m

A1- 29 - Ensemble Z14A  
Ecaille principale de 25m<sup>3</sup>  
à stabiliser par filet métallique  
plaqué et ancrage.

# Paroi rocheuse de THON :

## Mesures de protection par ancrages passifs

Stabilisation de la masse par ancrages : S670 diam.43mm  
prof. 5, 6 et 7m



A1- 30 - Ensembles Z14B, Z14C et Z14D - Ecailles de 20 à 70m<sup>3</sup> à stabiliser par ancrage passif



A1- 48 - Ensemble Z25 - Masse de 400 à 500m<sup>3</sup> à stabiliser par ancrage (travaux non prioritaires)



# Paroi rocheuse de THON :



# Paroi rocheuse de THON :

Mesures de protection par ancrages passifs / Contrôle des ancrages

Plus de 200 ancrages

Zone	N° ancrage	L prévue horiz.	L réelle oblique	Inclinaison par rapport horiz.		Proj. horiz.	Longueur tolérable	Si PH > LT OK Ancrage accepté
		(m)	(m)	(g)	(°)	PH (m)	LT (m)	REMARQUES
14B	1	5	5	5	4,5	4,98	4,53	OK
	2	5	5	4	3,6	4,99	4,53	OK
	3	5	5	9	8,1	4,95	4,53	OK
	4	5	5	1	0,9	5,00	4,53	OK
	5	5	5	3	2,7	4,99	4,53	OK
	6	5	5	2	1,8	5,00	4,53	OK
	7	5	5	10	9	4,94	4,53	OK
	8	5	5	7	6,3	4,97	4,53	OK
	9	5	5	5	4,5	4,98	4,53	OK
	10	5	5	10	9	4,94	4,53	OK
	11	5	5	1	0,9	5,00	4,53	OK
	12	5	5	8	7,2	4,96	4,53	OK
	13	5	5	10	9	4,94	4,53	OK
	14	5	5	9	8,1	4,95	4,53	OK
	15	5	5	10	9	4,94	4,53	OK



# Paroi rocheuse de THON :

Mesures de protection par ancrages passifs / Contrôle des ancrages



# Paroi rocheuse de THON :

Mesures de protection par ancrages passifs / Contrôle des ancrages



# Paroi rocheuse de THON :

Mesures de protection par ancrages passifs / Contrôle des ancrages



# CASE HISTORIES

---

**Merci pour votre attention**

Luc FUNCKEN, Direction de Géotechnique  
([luc.funcken@spw.wallonie.be](mailto:luc.funcken@spw.wallonie.be))



---

Journée d'étude SBGIMR – 10/03/2015  
Les techniques de clouage des parois

