



**SOCIÉTÉ BELGE DE
GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR
ET DE
MÉCANIQUE DES ROCHES**

**Journée technique
"STABILITÉ DES PAROIS ROCHEUSES"**

1er octobre 2010 * Luxembourg



Présentation : Pierre GUILLEMIN
CETE de Lyon – Groupe Groupe RRMS – Unité Risques Rocheux

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie,
du Développement durable et de la Mer

www.developpement-durable.gouv.fr

Les parois rocheuses ! reconnaisances

&

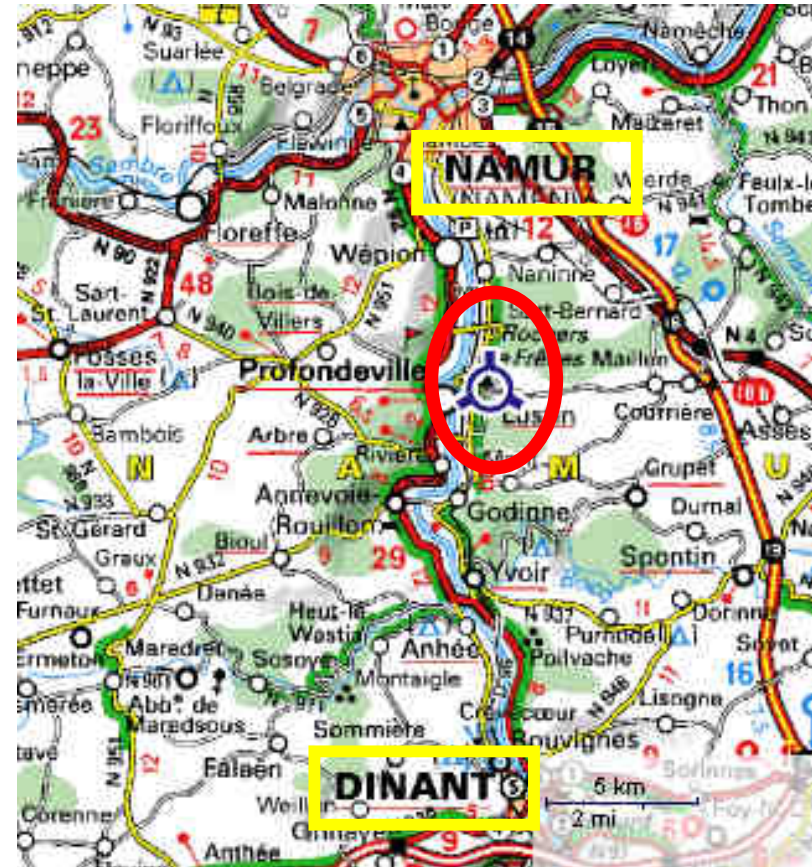
remédiations

Recources, territoires et habitats
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et Mer

**Présent
pour
l'avenir**

Contexte général

- *Étude réalisée en 2001 pour la SNCB*
- *Objectif : définir les mesures de protection à mettre en œuvre dans le secteur considéré afin d'améliorer les conditions générales de sécurité pour les circulations ferroviaires*
- *Dossier repris par Infrabel pour une réalisation des travaux en 2008 et 2009*



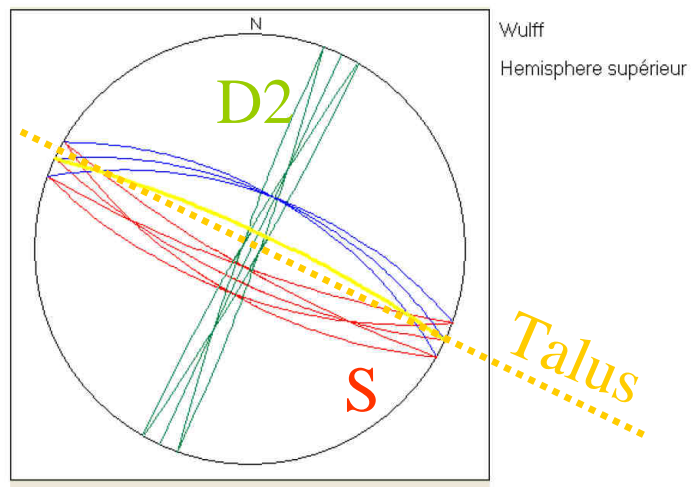
Contexte géographique

- *Zone étudiée longue de 230 mètres environ, domine la voie ferrée et une route secondaire qui relie Dinant à Namur par la rive droite de la Meuse*
- *Orientation moyenne du versant NW-SE (versant SW)*
- *Versant haut de 70 à 80 mètres*



Contexte géologique

- *Calcaires frasniens en bancs d'épaisseur métrique*
- *Structure très redressée N110 à 120° E (~ // axe versant) à plongement amont de 65 à 80° NE*
- *Diaclases N20 à 30° E subverticales (découpage latéral)*
- *Diaclases N110 à 120° E - 60° SW (rôle prépondérant dans la déstabilisation par mécanisme de glissement plan)*
- *Karstification intense (réseau principal de la grotte des Nuttons)*



Approche de type "étude spécifique"

Structure de la démarche ⁽¹⁾

- 1) Cahier des charges
- 2) Approche d'ensemble : *couche sources* *
- 3) Identification et caractérisation des instabilités potentielles : *couche évaluation*
- 4) Détermination des aléas résultants
- 5) Choix, dimensionnement, chiffrage et priorisation des mesures de protection

(1) « LES ETUDES SPECIFIQUES D'ALEAS
ÉBOULEMENTS ROCHEUX »

Guide méthodologique du réseau des Laboratoires
des Ponts & Chaussées

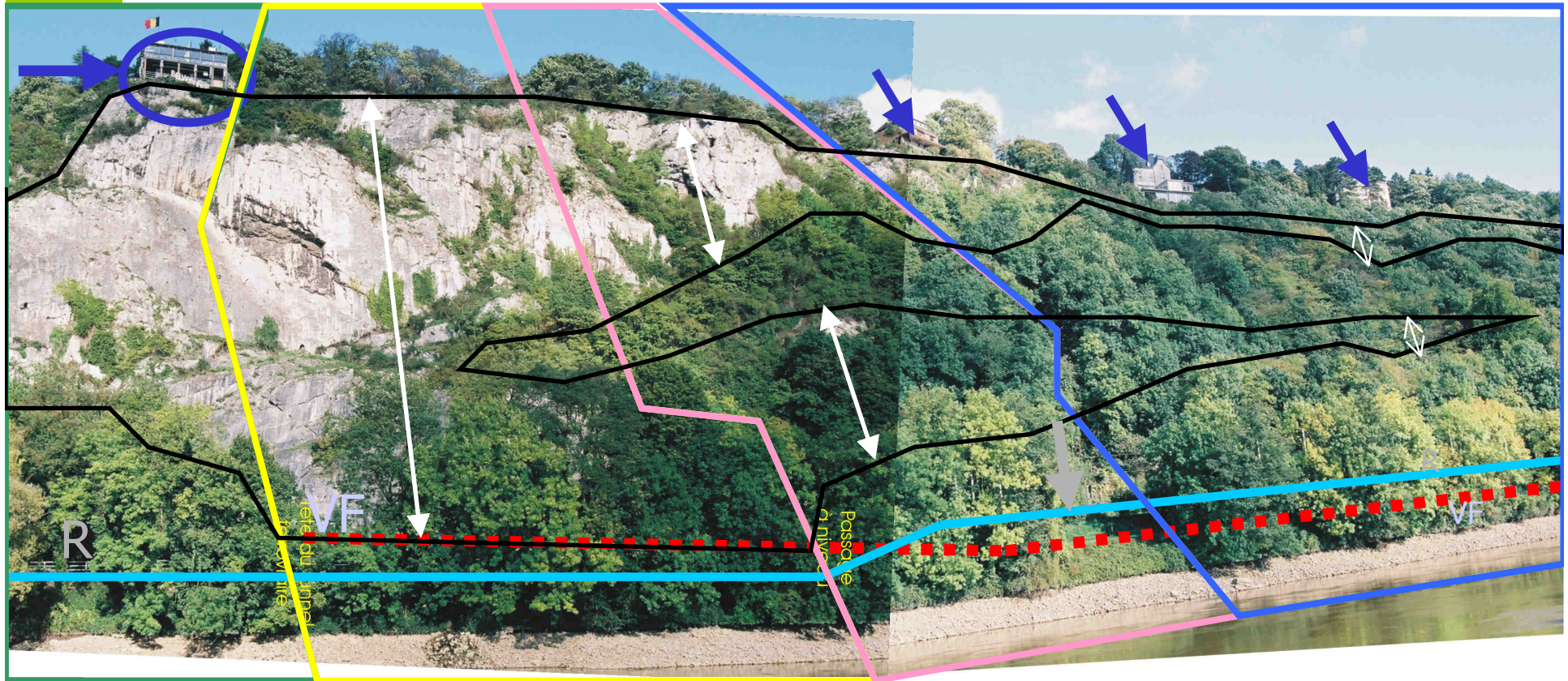
(2005)

2) Couche sources

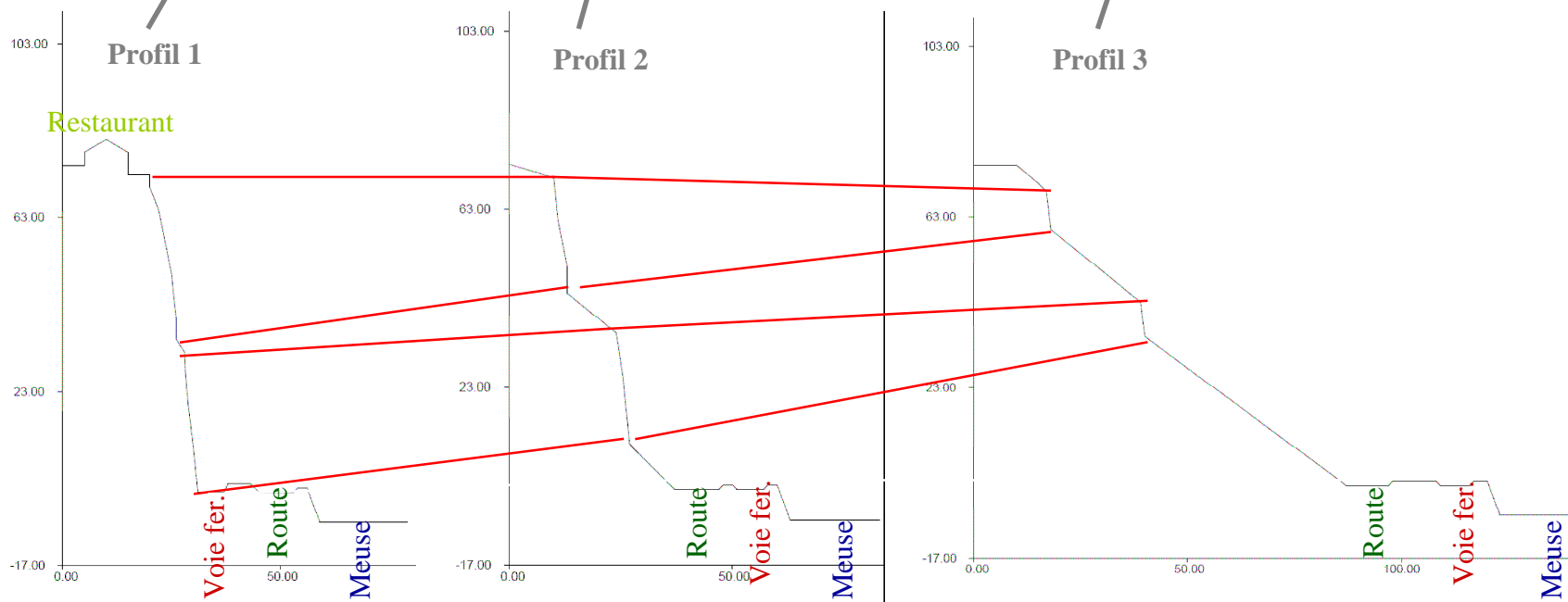
Approche d'ensemble

- Recherche documentaire
- Approche historique
- Approche géologique
- Approche structurale
- Approche morphologique
- Approche hydrogéologique, hydrologique et climatique
- Données sismiques
- Données relatives au couvert végétal
- Mécanismes d'évolution des versants
- Sectorisation *

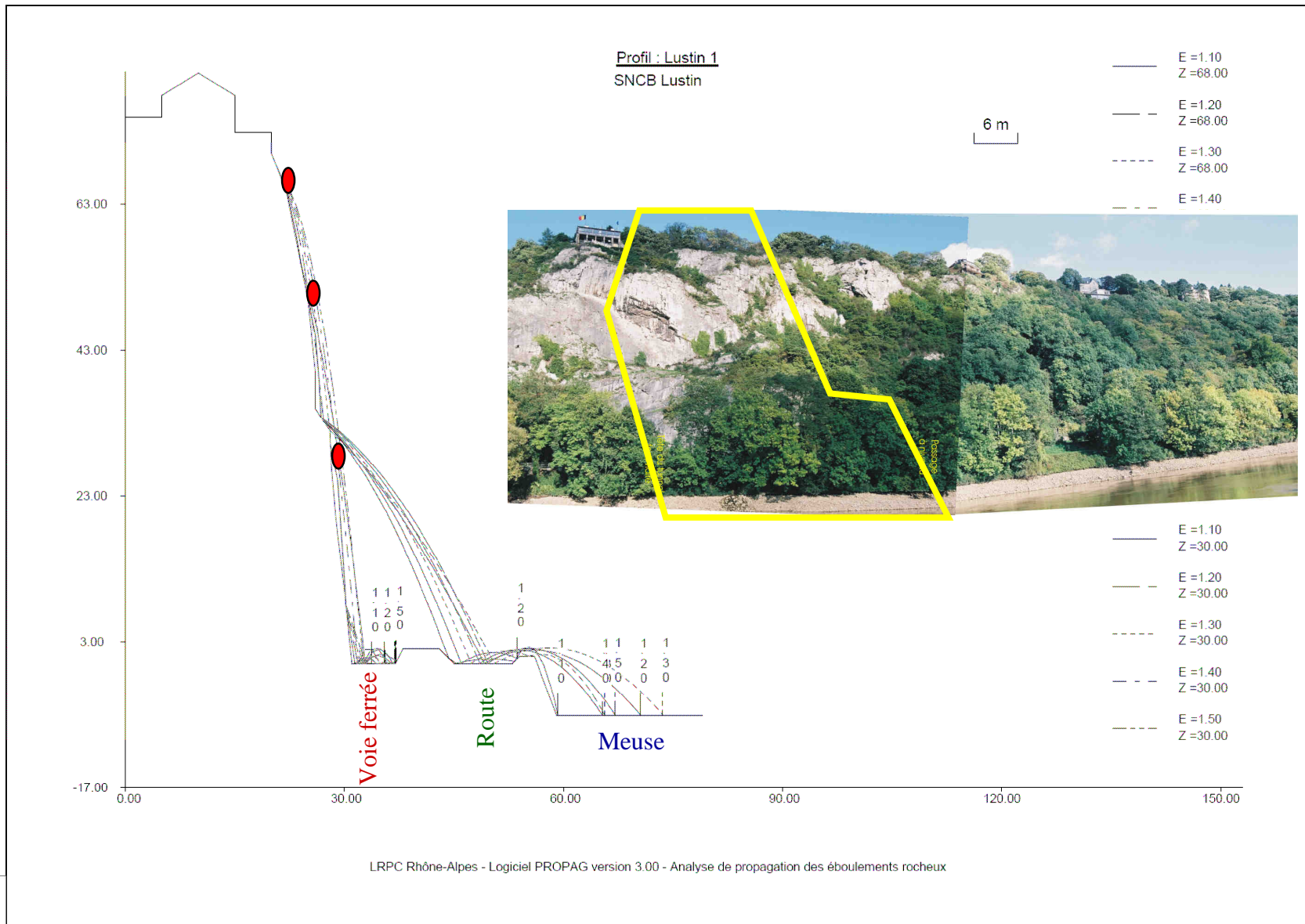
Sectorisation



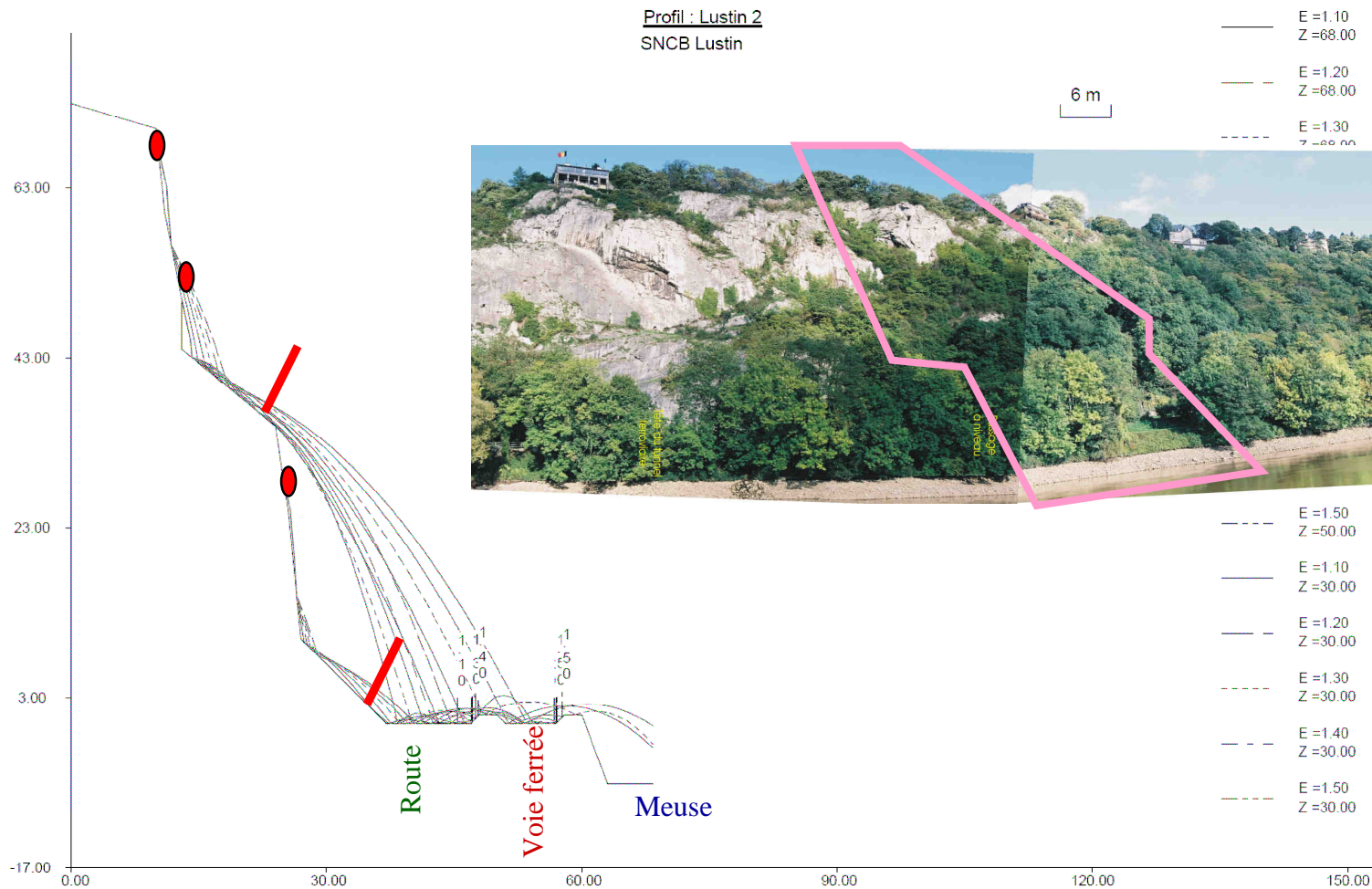
Aspect multiple de la sectorisation...



Propagation des éboulements dans le secteur 1



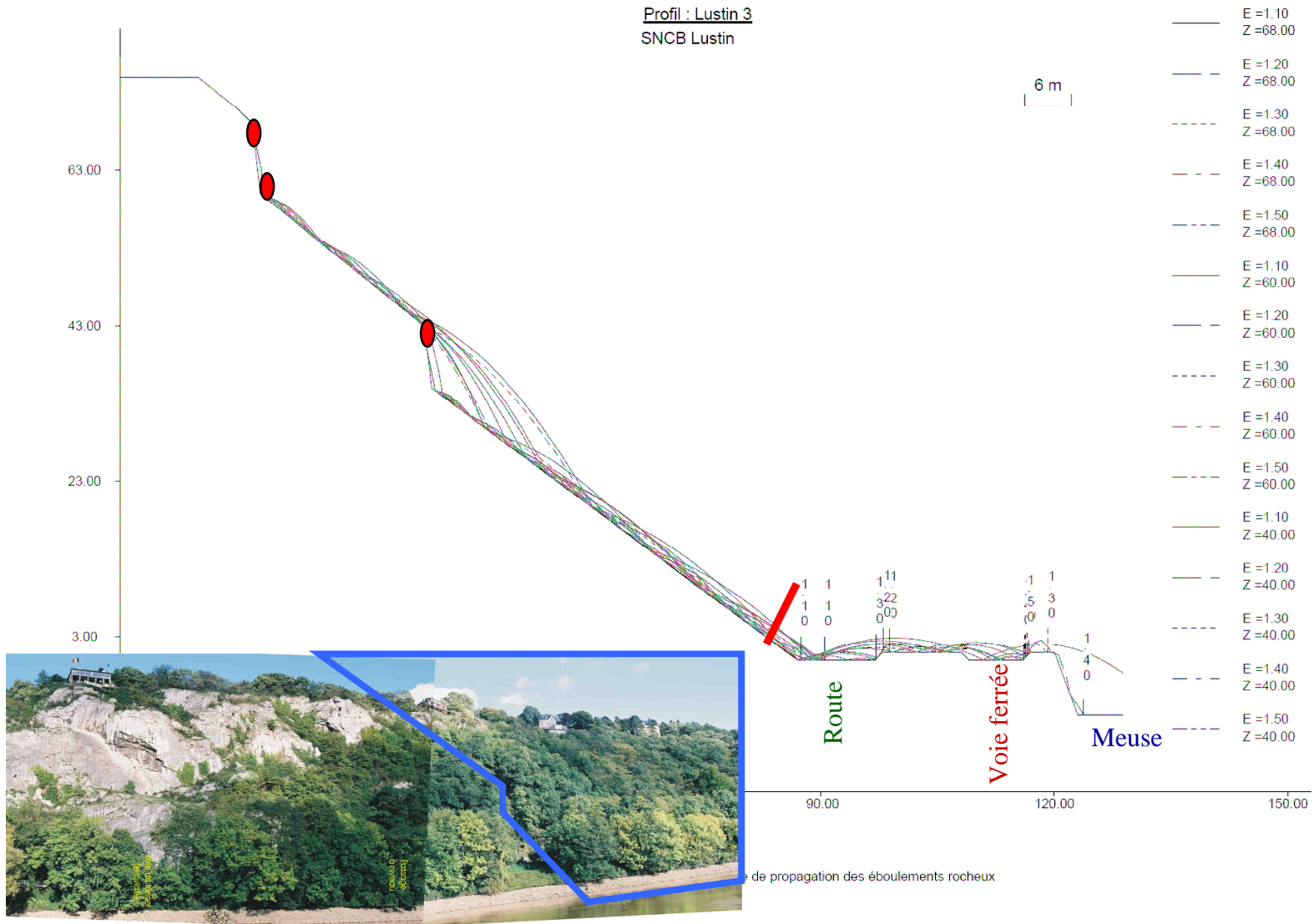
Propagation des éboulements dans le secteur 2



LRPC Rhône-Alpes - Logiciel PROPAG version 3.00 - Analyse de propagation des éboulements rocheux



Propagation des éboulements dans le secteur 3



Approche de type "étude spécifique"

Structure de la démarche (suite)

- 1) Cahier des charges
- 2) Approche d'ensemble : *couche sources*
- 3) Identification et caractérisation des instabilités potentielles : *couche évaluation **
- 4) Détermination des aléas résultants
- 5) Choix, dimensionnement, chiffrage et priorisation des mesures de protection

3) Couche évaluation

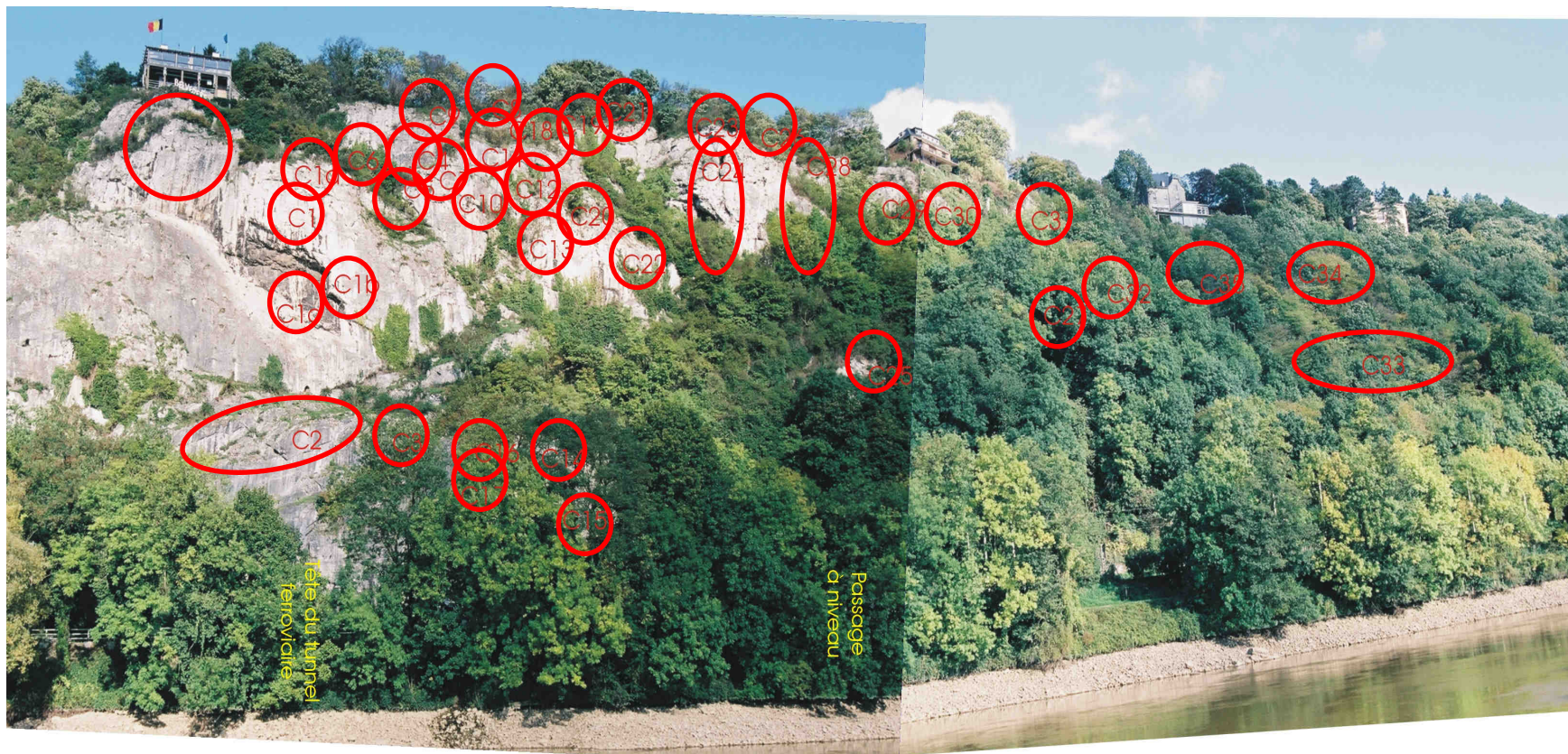
Identification et caractérisation des instabilités potentielles

- 3.1 - Localisation et identification des compartiments potentiellement instables*
- 3.2 - Qualification de l'aléa d'écroulement
- 3.3 – Qualification de l'aléa de propagation (approche qualitative ou étude trajectographique)

3-1) Localisation et identification des compartiments potentiellement instables

- Inventaire des éléments ou facteurs déterminants
- Repérage des différents compartiments instables (*)
- Nature
- Géométrie(s)
- Paramètres géomécaniques
- Évolution
- Mécanismes de rupture
- Fragmentation lors de la phase d'écroulement

Inventaire et repérage



Inventaire et repérage

Dispositif de mise sous observation
du compartiment principal :

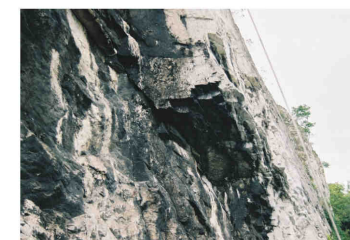
M Repères tridimensionnels pour mesures
de contrôle manuelles



A1-4 - Compartiment C1
Vue latérale de la masse principale.
Implantation des repères de contrôle



A1-5 à 12 - Compartiment C1
Détails de petits éléments destinés
à la protection générale par nappe
de grillage pendue



A1-13
Compartiment C1b
Détails de la base
découpée du surplomb
à stabiliser par filet
métallique plaqué

 LRPC Rhône-Alpes

S.N.C.B. - ZONE DE LUSTIN

Dossier H/34234 - PI 03



SBGIMR

Luxembourg - 1er octobre 2010

Stabilité des parois rocheuses

P. Guillemin

Inventaire et repérage



*A1-33, 34, 35, 36 - Ensemble C21 - Détails de la fracturation du massif.
Protection générale par dispositifs pare-blocs mis en place dans le versant*

Inventaire et repérage



A1-37 - Compartiment C23
Détail de la fracturation arrière



A1-40 - Compartiment C24
Détail de la fracturation arrière
côté Nord

3-1) Localisation et identification des compartiments potentiellement instables

- Inventaire des éléments ou facteurs déterminants
- Repérage des différents compartiments instables
- Nature
- Géométrie(s)
- Paramètres géomécaniques
- Évolution
- Mécanismes de rupture (*)
- Fragmentation lors de la phase d'écroulement

Mécanismes de rupture

Origine des ruptures dans massifs rocheux superficiels : les discontinuités (joints de stratification – diaclases – fractures – failles – schistosité)

Moteur du phénomène : la pesanteur, en liaison avec des sollicitations multiples (eau - efforts extérieurs – vibrations - agents climatiques...)

Principaux types d'instabilité : (dégradation superficielle, glissement plan, glissement dièdre, rupture de surplomb, Basculement, rupture de pied, Fauchage, flambement)

Trois phases de rupture (hors brusque modification des forces motrices ou résistantes) :

- **phase d'initialisation** (déplacements faibles, période parfois longue)
- **phase d'accélération** (limitée dans le temps, modification visible de la géométrie d'ensemble)
- **la rupture** (instantanée ou régressive)

Essayer de déterminer à quel stade l'on se trouve...

3) Couche évaluation (suite)

Identification et caractérisation des instabilités potentielles

- 3.1 - Localisation et identification des compartiments potentiellement instables
- 3.2 - Qualification de **l'aléa d'écroulement** *
- 3.3 - Qualification de l'aléa de propagation (approche qualitative ou étude trajectographique)

3-2) Qualification de l'aléa d'écroulement

a) Classe d'instabilité

- Chutes de pierres = Vol unit < quelques dm^3
- Chutes de blocs = blocs isolés Vol unit de quelques fractions de m^3 à plusieurs m^3 . Pouvant atteindre ou dépasser une 100^{aine} de m^3 dans le cas de formations massives
- Éboulement en masse limité = Volume total maximal de l'ordre de quelques 100^{aines} de m^3 provenant d'une masse rocheuse fragmentée
- Éboulement en masse = Volume total > 1000^{ier} de m^3 . Jusqu'à $500\ 000\ \text{m}^3$
- Éboulement en grande masse = Éboulement de très grand volume. Vol simultané > $500\ 000\ \text{m}^3$. Dynamique spécifique

3-2) Qualification de l'aléa d'écroulement

- a) Classe d'instabilité
- b) Probabilité d'occurrence de l'aléa d'écroulement (notion qualitative)

très élevée (te)	Non occurrence du phénomène exceptionnelle Occurrence du phénomène normale
élevée (e)	L'occurrence du phénomène est plus envisageable que sa non occurrence
modéré (m)	L'occurrence du phénomène est équivalente à sa non occurrence
faible (f)	La non occurrence du phénomène est plus envisageable que son occurrence
très faible (tf)	Occurrence du phénomène exceptionnelle Non occurrence du phénomène normale

3-2) Qualification de l'aléa d'écroulement

- a) Classe d'instabilité
- b) Probabilité d'occurrence de l'aléa d'écroulement (notion qualitative)
- c) Délai d'occurrence de l'aléa d'écroulement

imminent (i)	délai imposant des mesures de sécurité immédiates
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 (entre 30 et 100 ans)

3-2) Qualification de l'aléa d'écroulement

- Classe d'instabilité
- Probabilité d'occurrence de l'aléa d'écroulement (notion qualitative)
- Délai d'occurrence de l'aléa d'écroulement
- Grille de qualification de l'aléa d'écroulement

Délai Probabilité	I immédiat	TCT très court terme	CT court terme	MT moyen terme	LT long terme	>LTt
TE très élevé		(4)		(1)	(2)	
E élevé	(4)		(1)	(2), (3)		Non
M modéré	(3)	(3)	(3)			Qualifiable
F faible			(2)			
TF très faible	(1)	(1)				

(1), (2), (3), (4) : événement correspondant à un compartiment spécifique, à un ensemble, à une classe de volume...

3) Couche évaluation (suite)

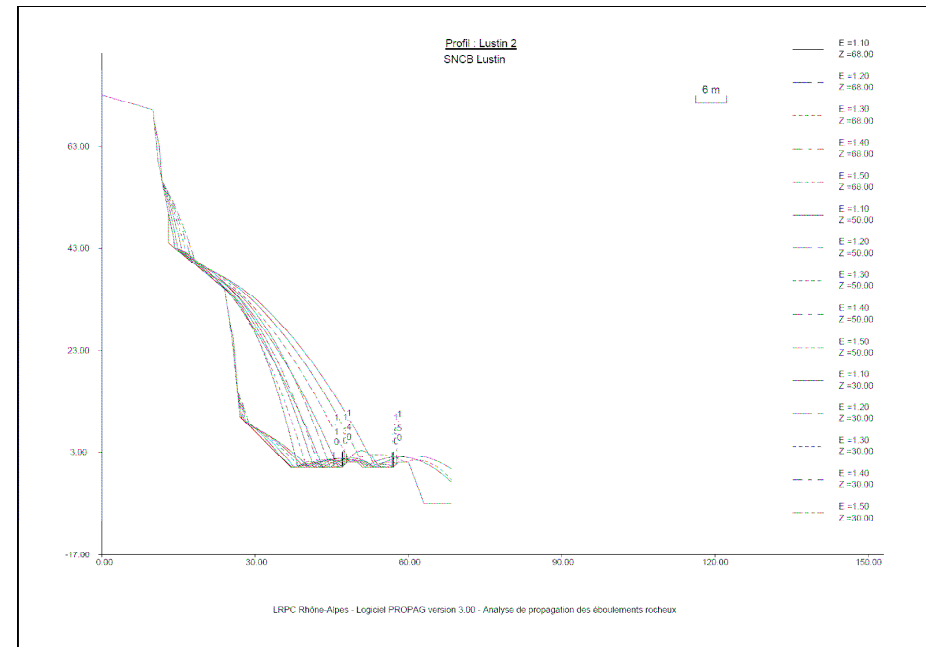
Identification et caractérisation des instabilités potentielles

- 3.1 - Localisation et identification des compartiments potentiellement instables
- 3.2 - Qualification de l'aléa d'écroulement
- 3.3 - Qualification de **l'aléa de propagation** (approche qualitative ou étude trajectographique)

3-3) Qualification de l'aléa de propagation

Approche qualitative ou par étude trajectographique

- Données topographiques
 - Conditions de départ
 - Les pentes inférieures
- Fragmentation (bloc de référence)
- Estimation de la trajectoire
 - Nature physique du versant
 - Direction
 - Obstacles
 - Probabilité de propagation
 - Extension limite, enveloppe de trajectoires, vitesses et hauteurs de passage des blocs



Approche de type "étude spécifique"

Structure de la démarche (suite)

- 1) Cahier des charges
- 2) Approche d'ensemble : *couche sources*
- 3) Identification et caractérisation des instabilités potentielles : *couche évaluation*
- 4) Détermination des **aléas résultants**
- 5) Choix, dimensionnement, chiffrage et priorisation des mesures de protection

4) Détermination des aléas résultants

Aléa résultant = aléa d'écroulement X aléa de propagation

"zone de danger" = lieu géographique qui se situe dans la zone d'influence des masses potentiellement instables, exposé à un aléa résultant non nul :

- en aval du compartiment
- sur le compartiment
- en retrait, latéralement ou à l'amont du compartiment

4) Détermination des aléas résultants (suite)

La notion de « **RISQUE** » est introduite lorsqu'il y a présence de biens (infrastructures) ou de personnes dans une "zone de danger" (ENJEU). Pour qu'il y ait risque, trois paramètres sont requis :

- aléa de rupture non nul
- aléa de propagation (ou d'entraînement) non nul
- présence de biens ou de personnes (enjeux) dans la zone de danger → vulnérabilité

Risque = aléa d'écroulement x aléa de propagation x vulnérabilité

Risque = aléa résultant x vulnérabilité

Pour supprimer le risque, trois actions sont donc possibles :

- suppression de l'aléa de départ
- suppression de l'aléa de propagation
- neutralisation de la zone de danger

Approche de type "étude spécifique"

Structure de la démarche (suite)

- 1) Cahier des charges
- 2) Approche d'ensemble : *couche sources*
- 3) Identification et caractérisation des instabilités potentielles : *couche évaluation*
- 4) Détermination des **aléas résultants**
- 5) Choix, dimensionnement, chiffrage et priorisation des mesures de protection

5) Choix et dimensionnement des mesures de protection

3 types d'actions pour supprimer le risque :

1. suppression de l'aléa de rupture = *parade active*
2. suppression de l'aléa de propagation = *parade passive*
3. suppression de la vulnérabilité par neutralisation des zones de danger = *évitement, évacuation...*

- Surveillance, observation...** = complément d'évaluation avec pour objectif un évitement ou une parade en temps utile.
- Détection** = orientation automatique vers un évitement (n'évite pas le « coup au but »)

Les ouvrages de protection contre les risques rocheux

PARADES PASSIVES	PARADES ACTIVES
<u>Barrages</u> : merlon	<u>Suppression de la masse</u> : purge, reprofilage
<u>Écrans</u> : écran rigide, écran peu déformable, écran déformable	<u>Stabilisation confortement</u> : soutènement, ancrage, ancrage en sol meuble, béton projeté, filet et grillage ancrés
<u>Fosses</u> : (associées généralement à un merlon)	<u>Végétalisation</u> (rôle fixant)
<u>Déviateurs</u> : déflecteur, déviateur latéral, galerie, casquette, grillages ou filets pendus	<u>Drainage</u> : drainage des eaux superficielles, drainage profond
<u>Dissipateurs d'énergie</u> : dispositif amortisseur, boisement (rôle d'écran)	

Tableau de synthèse aléas / parades (remédiations)

ESTIMATION DU COÛT DES TRAVAUX

N° Comp.	Ref. annexe	Réa- le- oulement	Vol. init. (m3)	V. fragm. (m3)	Aléa parag.	Définition des mesures de protection	Quantité	Unité	Coût (€/unité)	Montant (€)	TOTAL (€)	Priorité
C15	A1-1	ect	0.1/0.2	0.1	m	Protection générale par nappe de grillage pendue (voir traitement général de la zone)	pm				pm	1
	A1-20	mmt/fint fint	1/5 10/15	1 1/3	a-e /VF	Stabilisation des masses par ancrage : - 6 HA Ø25 prof 3m - 13 HA Ø25 prof 4m	18 52	m1 m1	61 61	1 098 3 172		2
C16	A1-1	mmt/fint	1/3	1	te/VF	Protection générale par nappe de grillage pendue (voir traitement général de la zone)	pm				pm	1
	A1-27				e/route	Stabilisation des masses par ancrage : - 4 HA Ø25 prof 3m - 3 HA Ø25 prof 4m	12 12	m1 m1	61 61	732 732	1 464	2
C17	A1-1 A1-27	fint	4/5	2/4	te/VF m/route	Stabilisation des masses par ancrage : - 3 HA Ø25 prof 4m	12	m1	61	732	732	2
C18	A1-1 A1-29	mmt/fint	1/2	1	te/VF te/route	Stabilisation des masses par ancrage : - 1 HA Ø25 prof 3m	3	m1	61	183	183	2
C19	A1-1	mmt/fint	6/8	2	te/VF	Stabilisation par filet métallique plaqué-ancré :	pm					
	A1-28	mmt/emt	0.5/1	0.5	te/route	- prépositionnement des filets avec fixations provisoires type chevilles expansives	6	m2	61	366		
	A2-8, 9					- fourniture de 1 élément de filet métallique H=2m L=3m	4	m1	61	244		
						- réalisation des ancrages périphériques du dispositif : 2 HA Ø25 prof 2m 3 HA Ø25 prof 3m 1 HA Ø25 prof 4m	9 4	m1 m1	61 61	549 244		
					Ancrage des masses à travers le filet : - 2 HA Ø25 prof 5m	10	m1	64	640			
					Ancrage des masses hors filet : - 2 HA Ø25 prof 3m	6	m1	61	366	2 409		1
C20	A1-1	perm tect	0.01/0.1	0.01	te/vf	Protection générale par écran pare-blocs dans le versant (voir traitement général de la zone)	pm				pm	1
	A1-30, 31, 32	mmt/fint	0.001/0.1 10/15	0.01 0.5	e/route	Stabilisation des masses par ancrage : - 10 HA Ø25 prof 4m	40	m1	61	2 440	2 440	2
C21	A1-1 A1-33, 34, 35, 36	mmt/fint mmt/emt	2/5 0.1/1	0.5 0.2	e/VF e/route	Protection générale par écran pare-blocs dans le versant (voir traitement général de la zone)	pm				pm	1

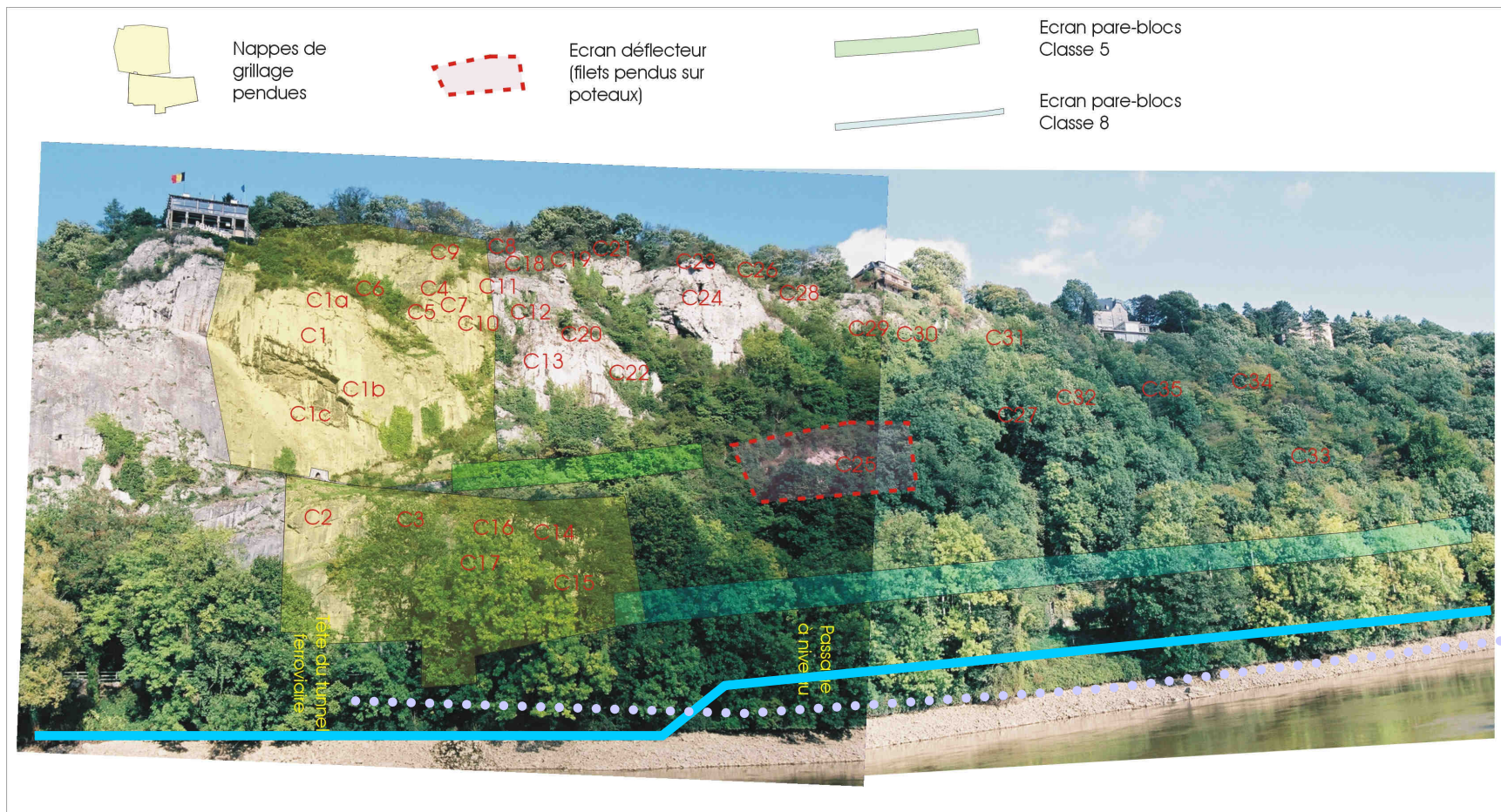
L.R.P.C. de Lyon - 25, avenue F. Mitterrand - Case n°1 - 69 674 - BRON Cedex

Tableau 4

Dossier H/34234

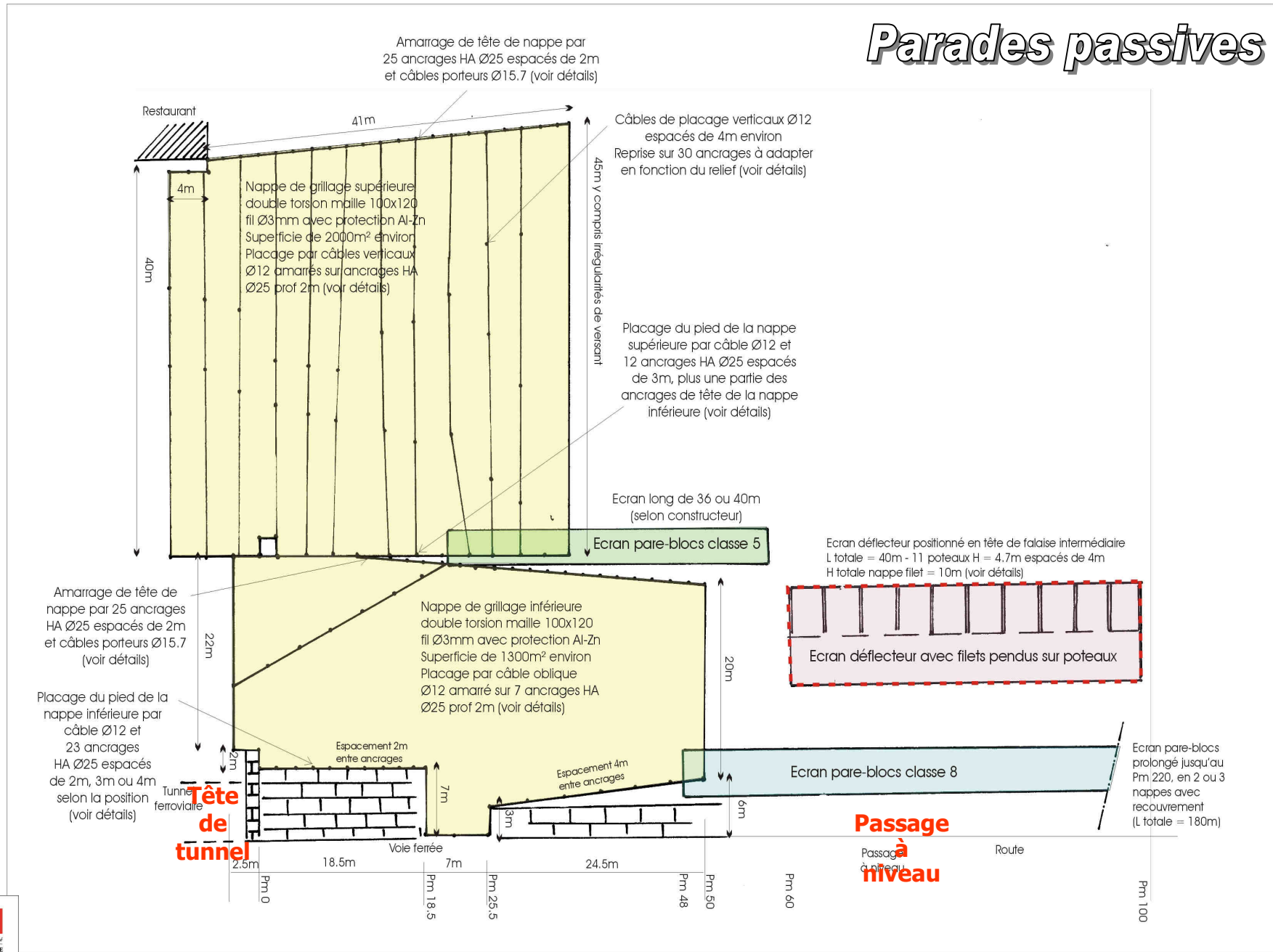


Parades passives

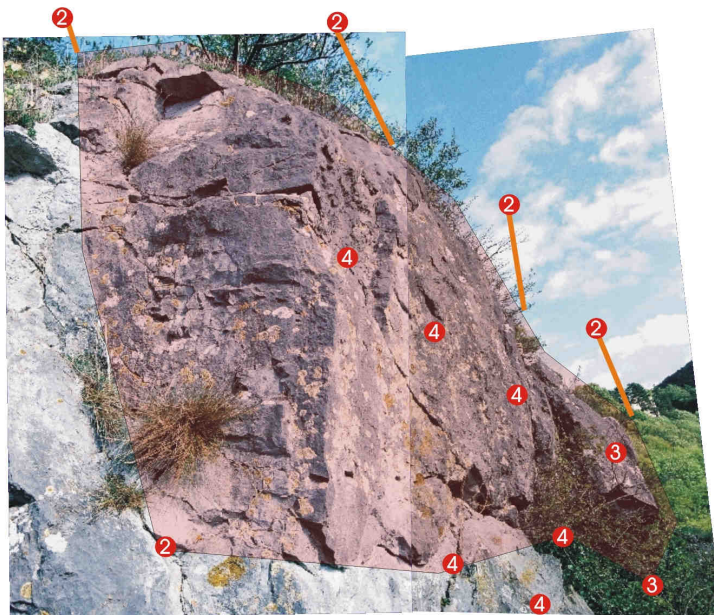


Pas de parade passive pour des infrastructures situées sur les compartiments instables...

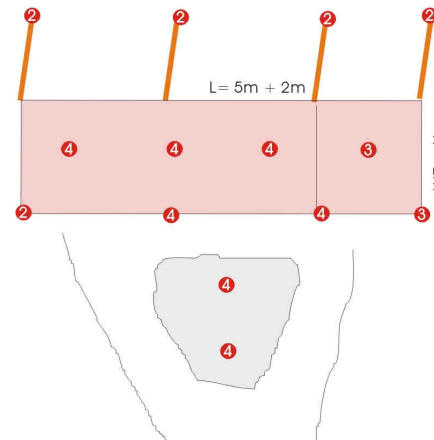
Parades passives



Parades actives

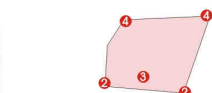
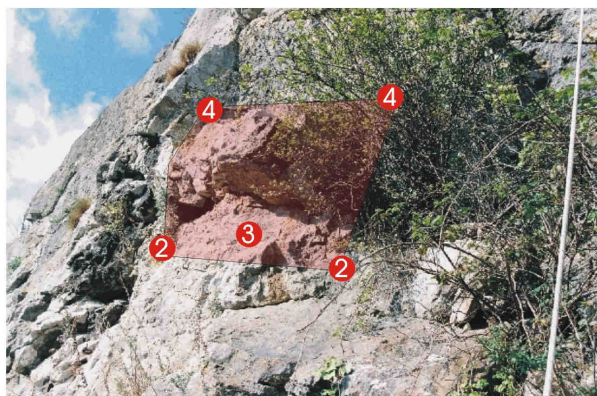


A1-18 - Compartiment C8
Stabilisation par filets métalliques plaqués-ancrés et ancrage passif des écaïlles



Stabilisation par 2 filets métalliques plaqués-ancrés L=5+2m H=2m
Amarrage périphérique sur ancrages :

- ② 5 HA Ø25 prof 2m
 - ③ 1 HA Ø25 prof 3m
 - ④ 2 HA Ø25 prof 4m
- Ancrage des écaïlles à travers les filets :
- ③ 1 HA Ø25 prof 3m
 - ④ 3 HA Ø25 prof 4m
- Stabilisation par ancrage hors filets :
- ④ 2 HA Ø25 prof 4m



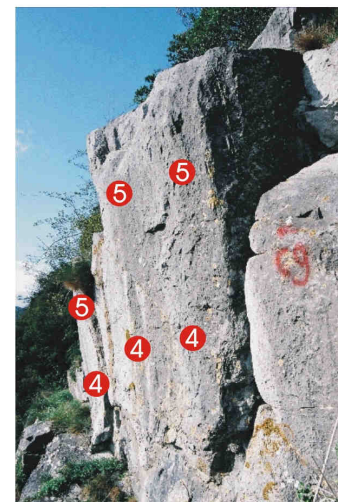
Élément de filet 2mx2m
Amarrage périphérique sur ancrages :

- ② 2 HA Ø25 prof 2m
- ④ 2 HA Ø25 prof 4m

Ancrage des écaïlles à travers les filets :

- ③ 1 HA Ø25 prof 3m

A1-19 - Compartiment C10
Stabilisation par filet métallique plaqué-ancré



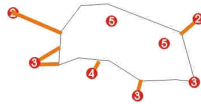
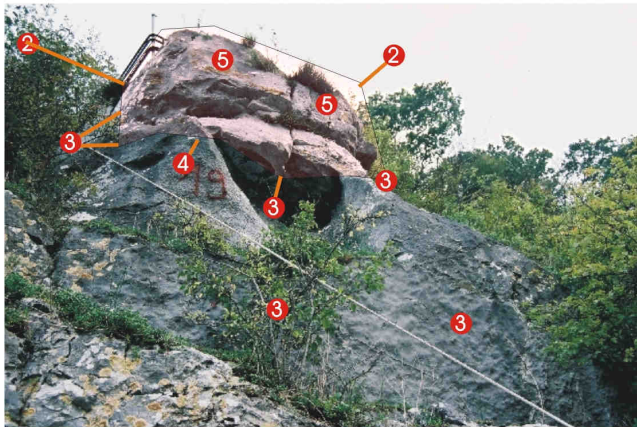
Stabilisation par ancrage :

- ④ 3 HA Ø25 prof 4m
- ⑤ 3 HA Ø25 prof 5m

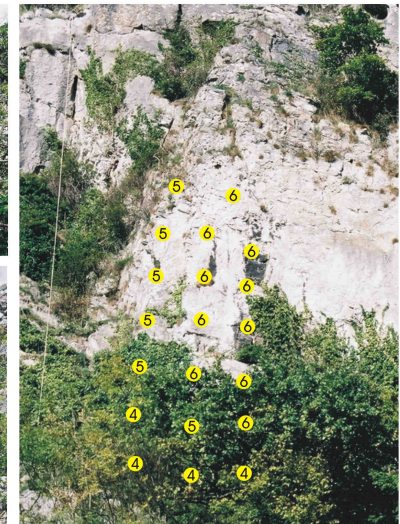
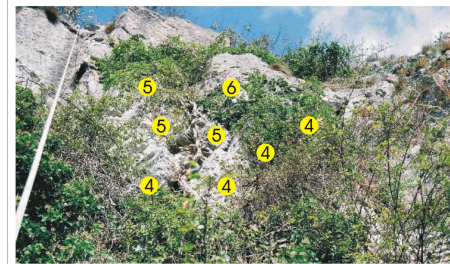
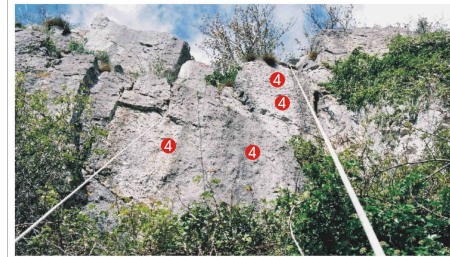
A1-20 - Compartiment C9
Stabilisation par ancrage



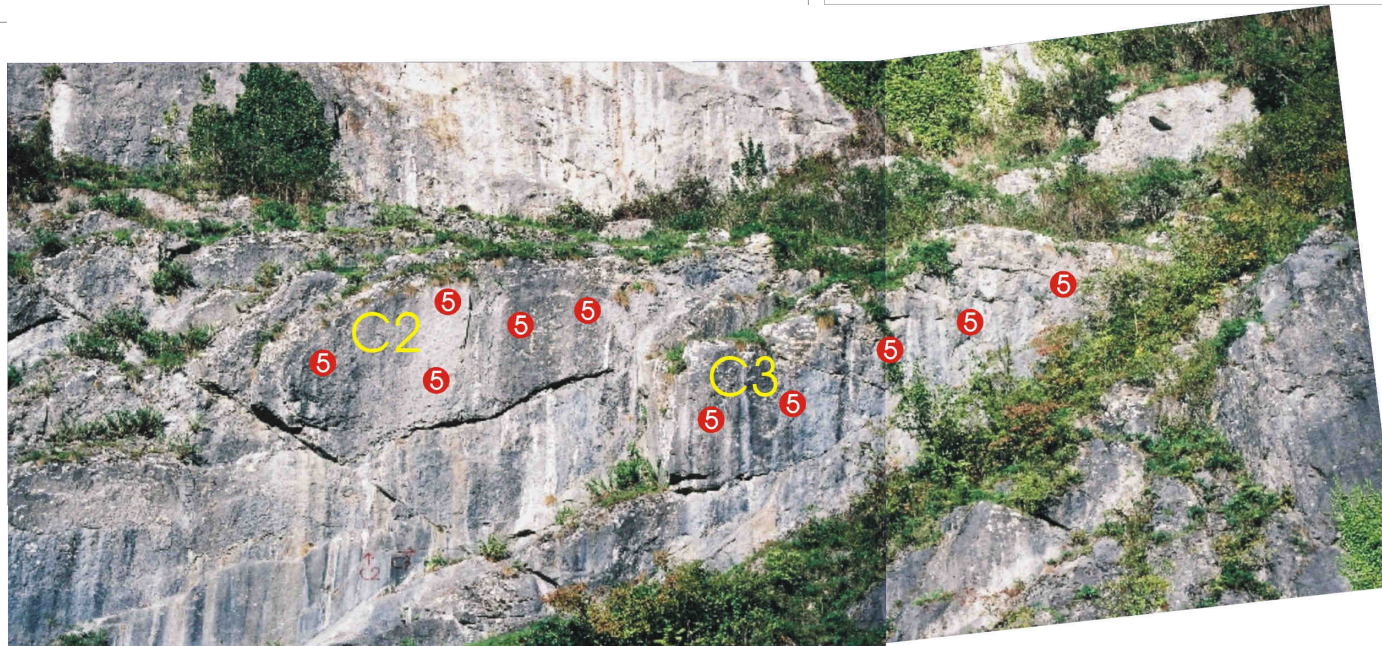
Parades actives



Stabilisation par filet plaqué :
 élément de filet H=2m L=3m
 amarrage périphérique
 ② 2 HA Ø25 prof 2m
 ③ 3 HA Ø25 prof 3m
 ④ 1 HA Ø25 prof 4m
 Ancrage à travers le filet :
 ⑤ 2 HA Ø25 prof 5m
 Ancrage hors filet :
 ⑥ 2 HA Ø25 prof 3m



A1-28 - Compartiment C19
 Stabilisation par filet métallique plaqué et ancrage passif





Intervention 2009 en cours de chantier :

Adaptation ponctuelle du dispositif de protection en fonction du retour d'expérience du début de chantier.



Stabilisation par ancrage à travers le grillage (prévu étude 34234) :

- 7 HA Ø25 prof 3m
- 6 HA Ø25 prof 4m

Stabilisation de la partie haute de C1 par fillet plaqué amarré sur la ligne d'ancrage de tête de nappe grillagée (ancrages déjà réalisés)
 Placage intermédiaire en pied de l'écaillage par ancrages HA25-2m
 Amarrage latéral par HA 25-2m
 Contournement complémentaire écaillage latérale par 3 HA25-3m

Compartment C1a

Stabilisation par ancrage des écaillages superfoliales après mise en place d'un fillet métallique plaqué



C1b : suppression du fillet plaqué initial de 2mx3m. Remplacement par le fillet global posé sur l'ensemble de C1

Ancrages initialement prévus: ● 5 HA Ø25 prof 2m
 A remplacer par ancrages plus longs destinés également au contournement du pied d'écaillage

Stabilisation de la partie basse de C1 par fillet plaqué (suite continue de la partie haute)
 Placages et ancrages intermédiaires des surplombs par ancrages HA 25 prof 3 et 4m
 Amarrage latéral par HA 25-2m

Stabilisation de C1c par ancrage dont 3 à travers un fillet plaqué: ● 5 HA Ø25 prof 3m
 Ancrage périphérique par HA 25-2m

Compartiments C1b et C1c

Stabilisation par filets métalliques plaqués et ancrages.

Cote C Rhône-Alpes

S.N.C.B. - ZONE DE LUSTIN

Complément 2009 au dossier H/34234



SBGIMR

Luxembourg - 1er octobre 2010

Stabilité des parois rocheuses

P. Guillemin

Références bibliographiques

« LES ETUDES SPECIFIQUES
D'ALEAS EBOULEMENTS ROCHEUX »

Guide méthodologique du réseau
des Laboratoires des Ponts &
Chaussées (2005)

« PARADES CONTRE LES
INSTABILITES ROCHEUSES »

Éditions L.C.P.C.
Collection Environnement
Les risques naturels
ISSN 1151 - 1516

« ETAT DE L'ART SUR LE DIMENSIONNEMENT DES DISPOSITIFS DE
PROTECTION CONTRE LES CHUTES DE BLOCS »

Éditions L.C.P.C. - Collection Géotechnique et risques naturels (2010)

« MAINTENANCE DES OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES
INSTABILITES ROCHEUSES
Pathologie et gestion des ouvrages »

Éditions L.C.P.C. - Collection Environnement - Les risques naturels
(2009)

Contact : Pierre GUILLEMIN – tél. +33 6 86 26 05 35 - pierre.guillemine@developpement-durable.gouv.fr