

Chute de bloc : définition



Chute de bloc : définition



Evénements rapides et discontinus

Chutes caractérisées par :

- une zone de départ = barre rocheuse
- une zone de propagation = versant
- une zone d'épandage (arrêt / atteinte) = versant et/ou pied de versant



Chute de bloc : définition

Types de zones de départ possible



Corniche rocheuse



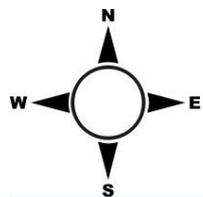
Versant rocheux



Blocs remobilisables

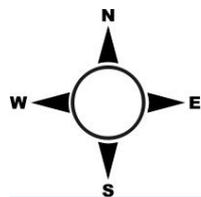
Chute de bloc : définition

Occurrences nationales



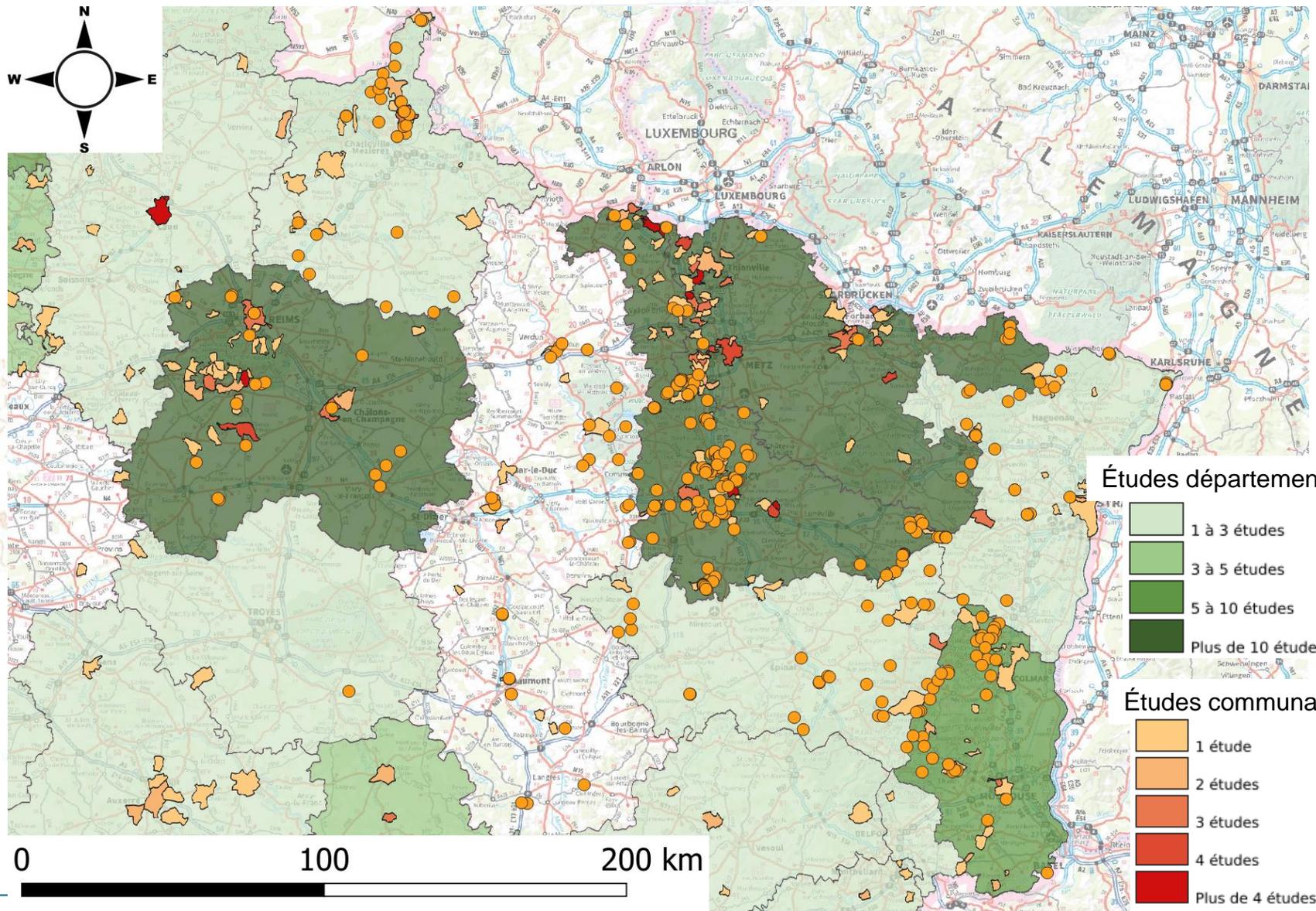
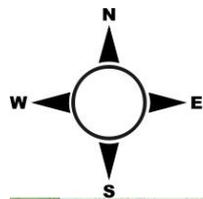
Chute de bloc : définition

Occurrences nationales

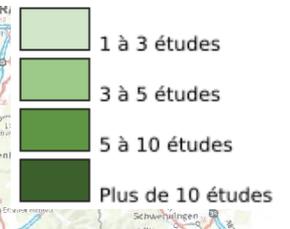


Chute de bloc : définition

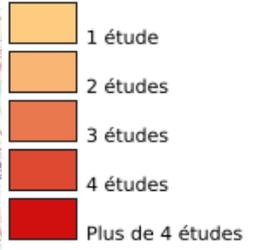
Occurrences dans le Grand Est



Études départementales

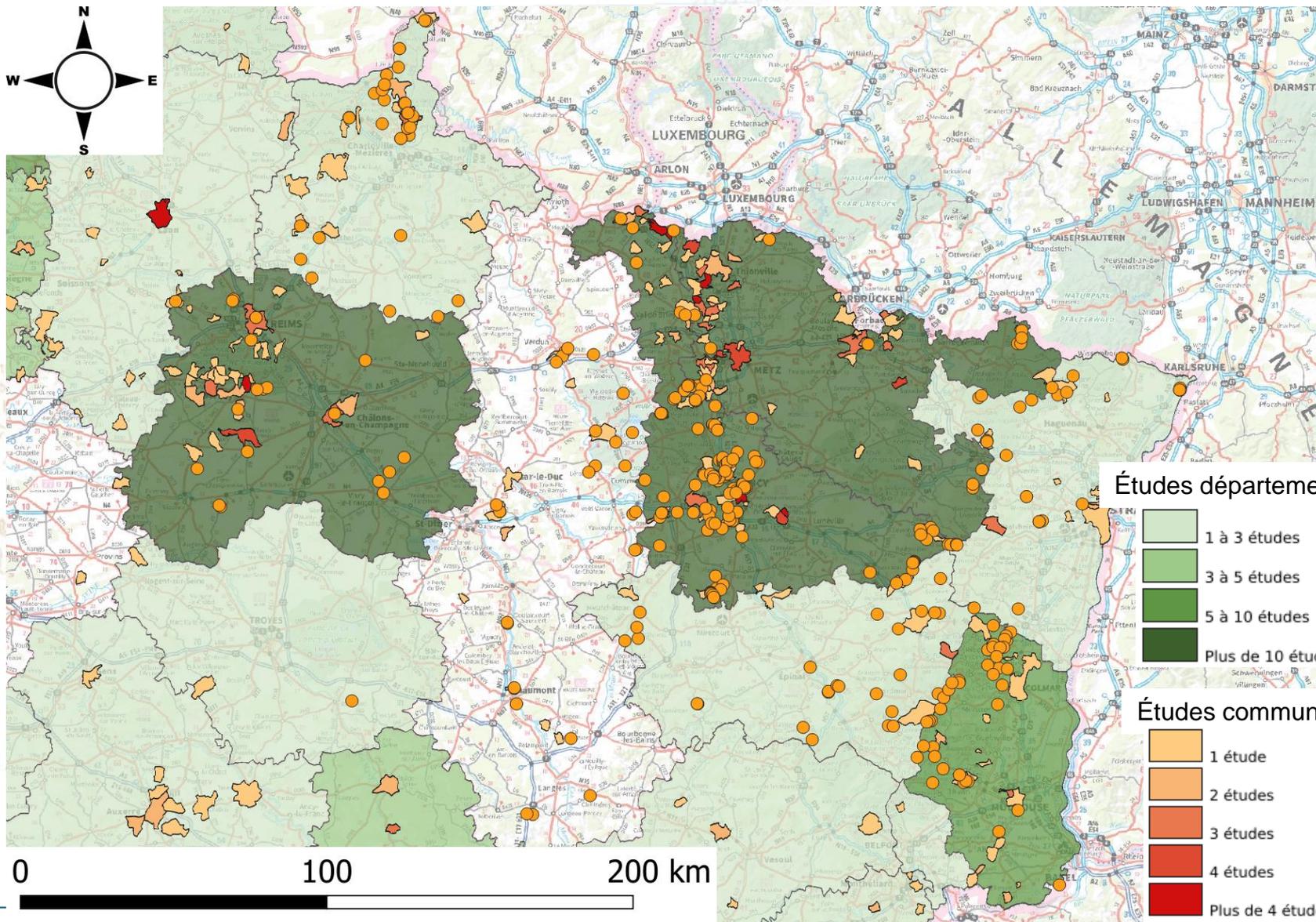
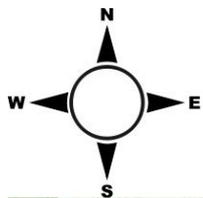


Études communales



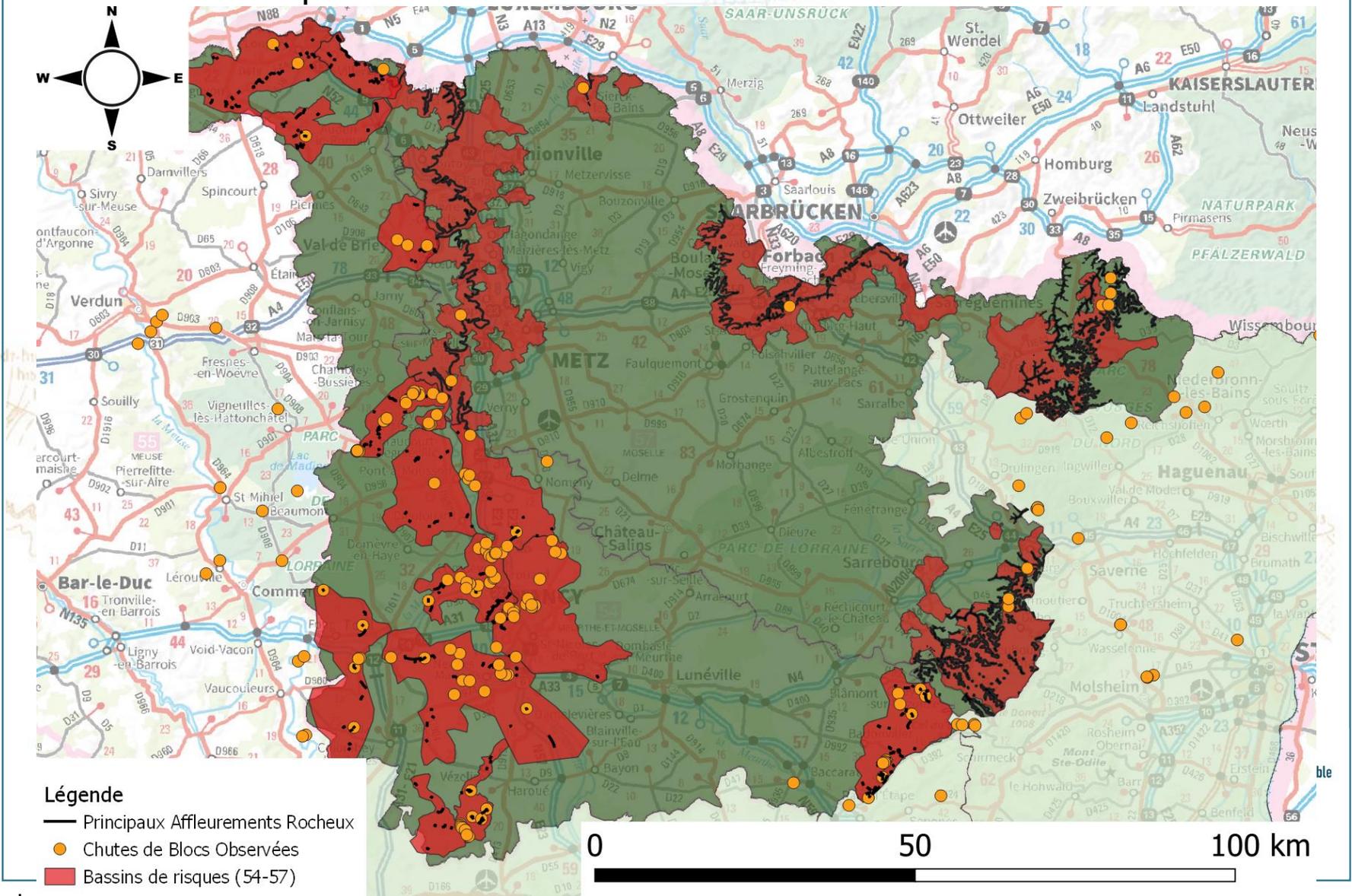
Chute de bloc : définition

Occurrences dans le Grand Est



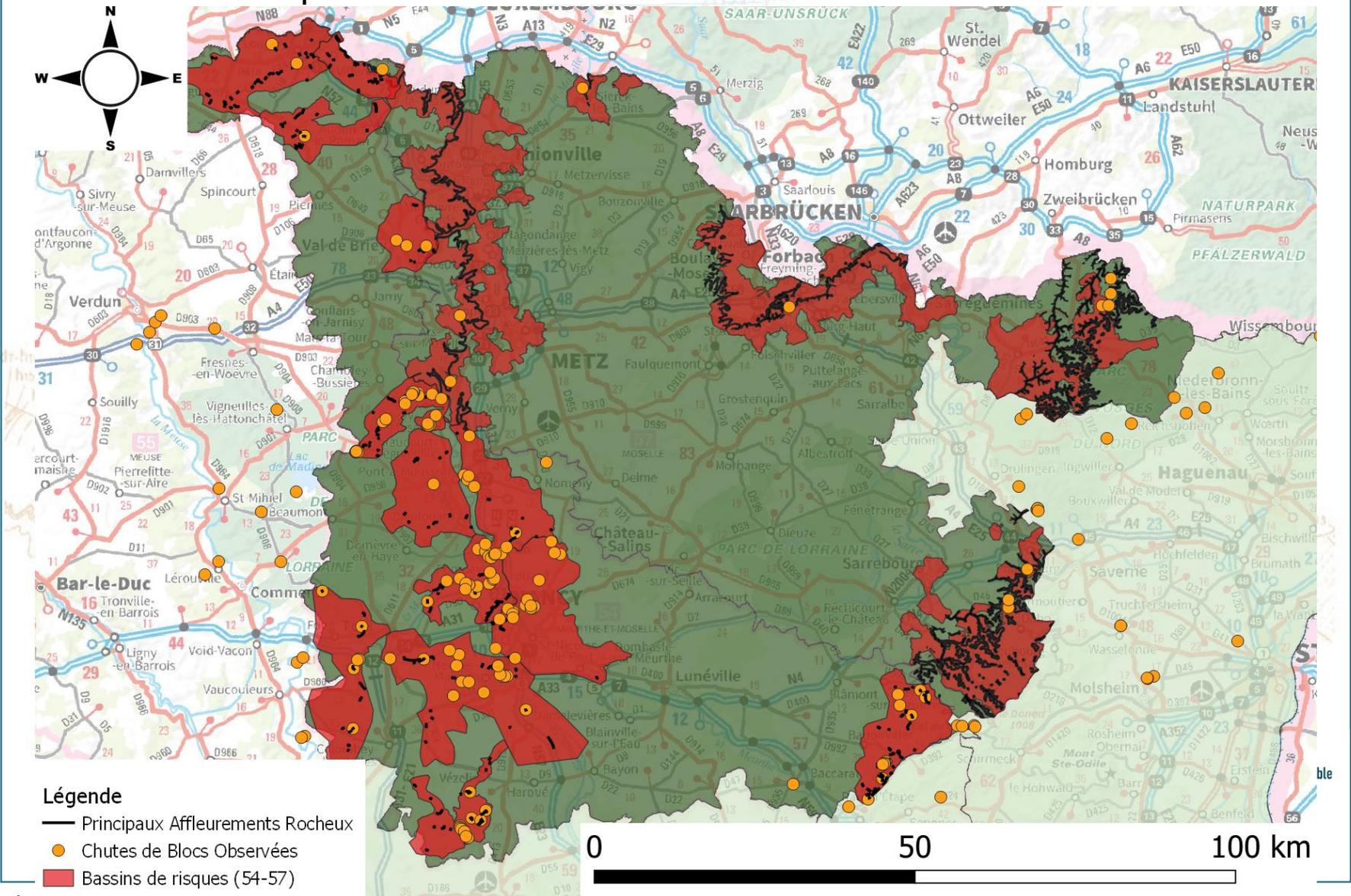
Chute de bloc : définition

Occurrences départementales



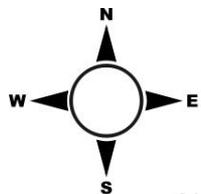
Chute de bloc : définition

Occurrences départementales



Chute de bloc : définition

Cartographie départementale



Bouillonville (54)

Légende

— Principaux Affleurements Rocheux

Aléa chute de bloc (1/50000)

■ FORT

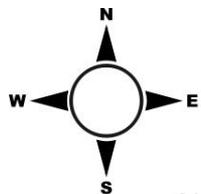
■ MOYEN

■ FAIBLE

0 0.1 0.2 km

Chute de bloc : définition

Cartographie départementale



Bouillonville (54)

Légende

— Principaux Affleurements Rocheux

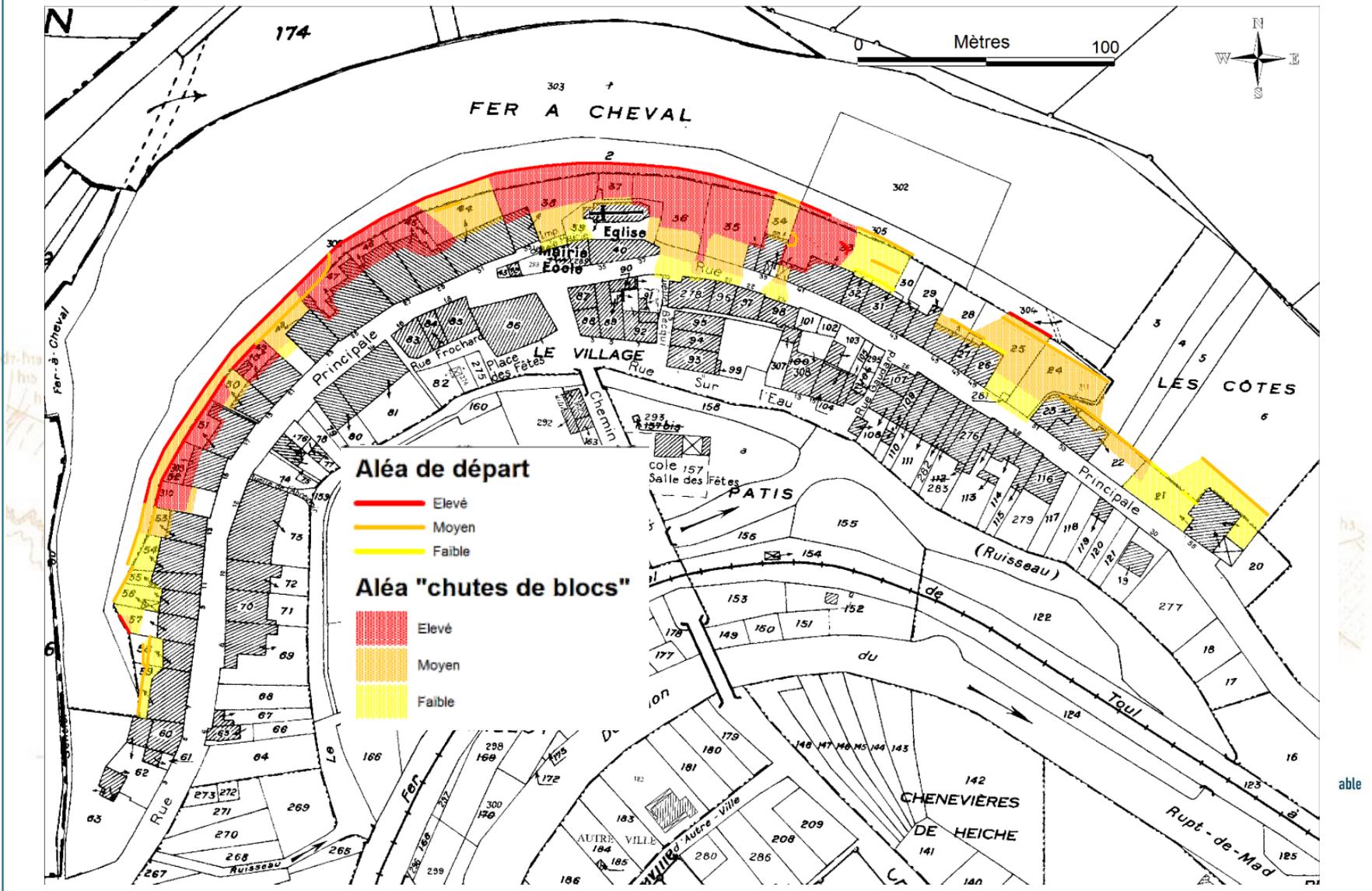
Aléa chute de bloc (1/50000)

- FORT
- MOYEN
- FAIBLE

0 0.1 0.2 km

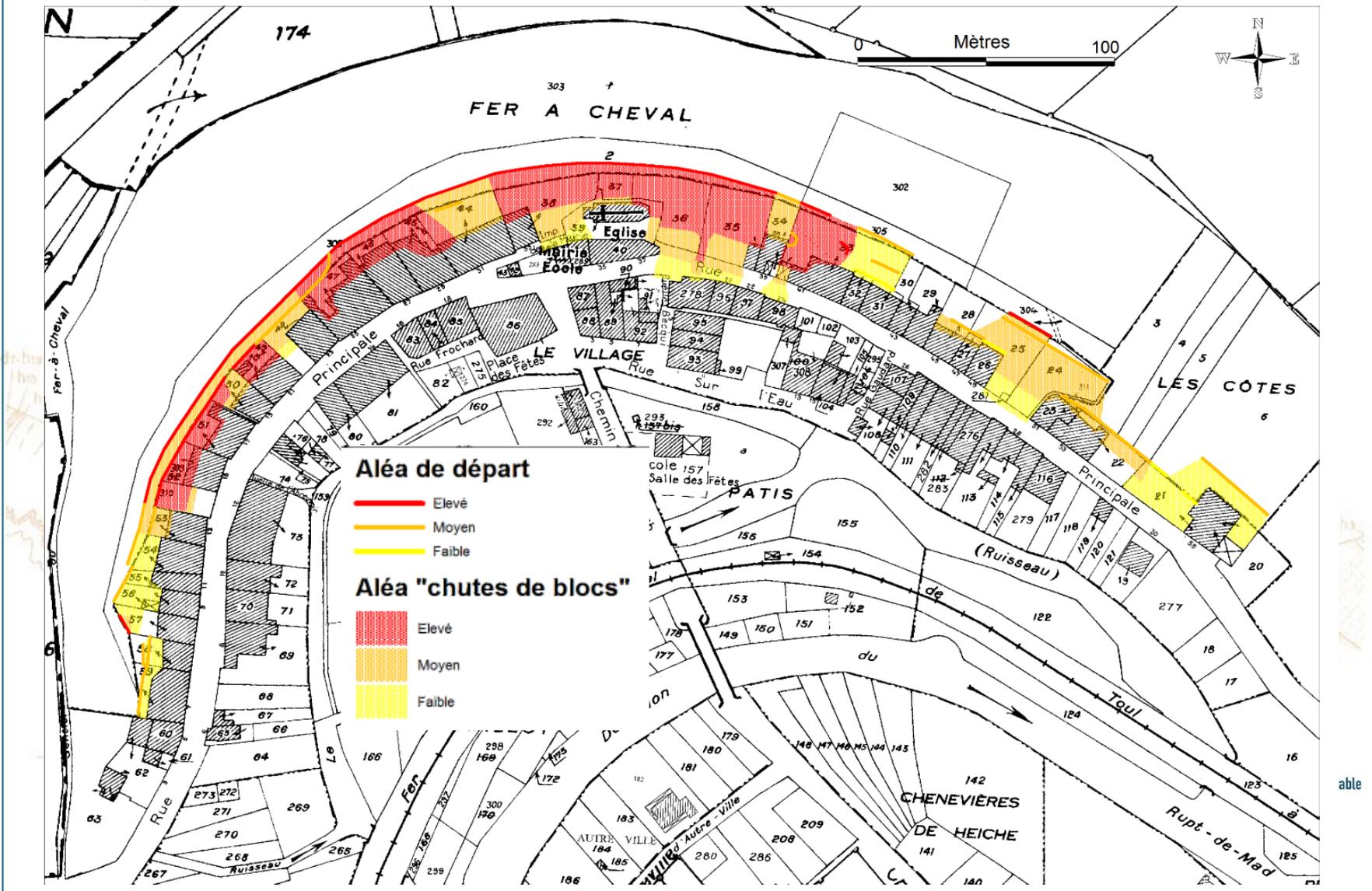
Chute de bloc : définition

Cartographie communale



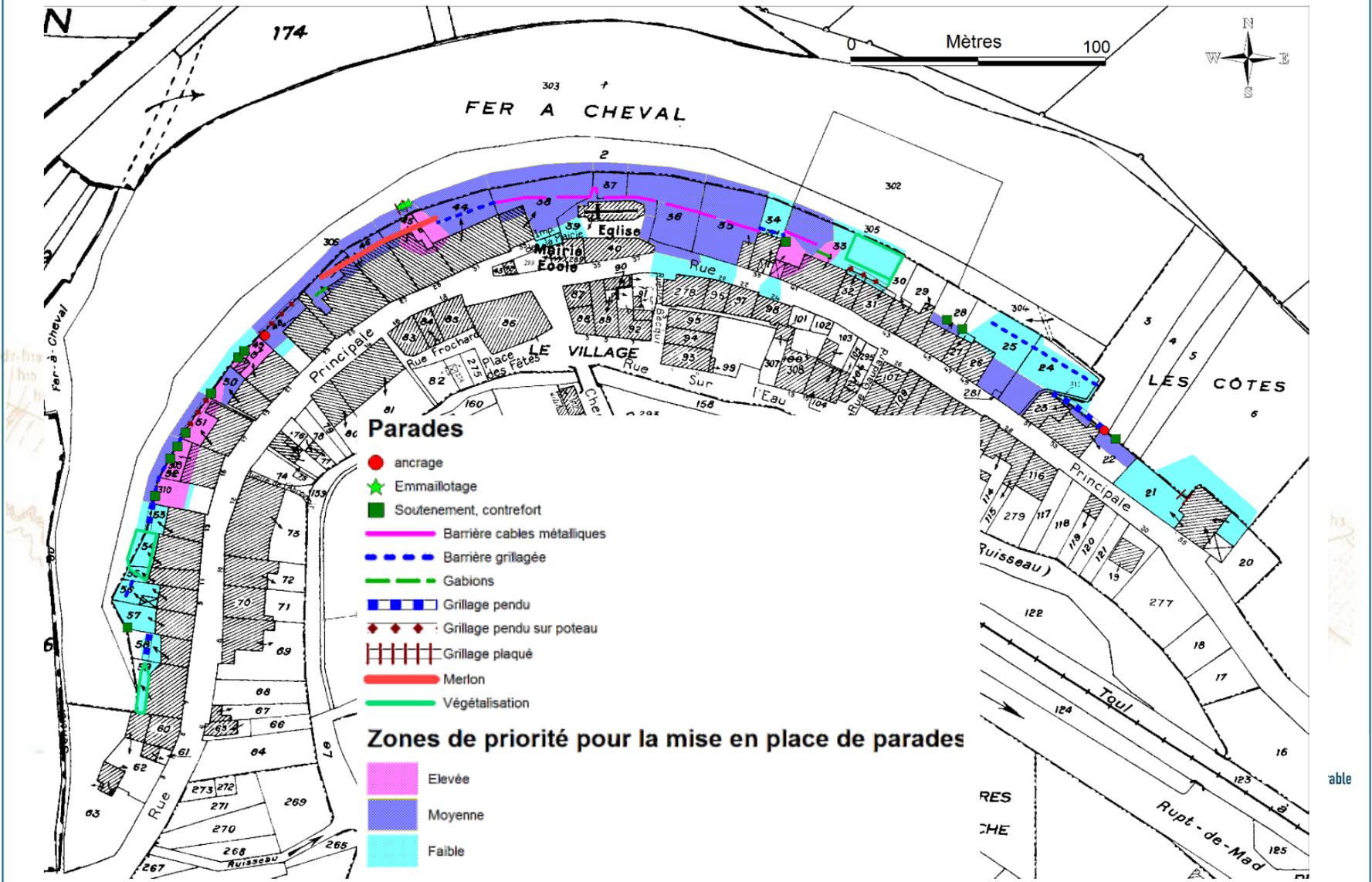
Chute de bloc : définition

Cartographie communale



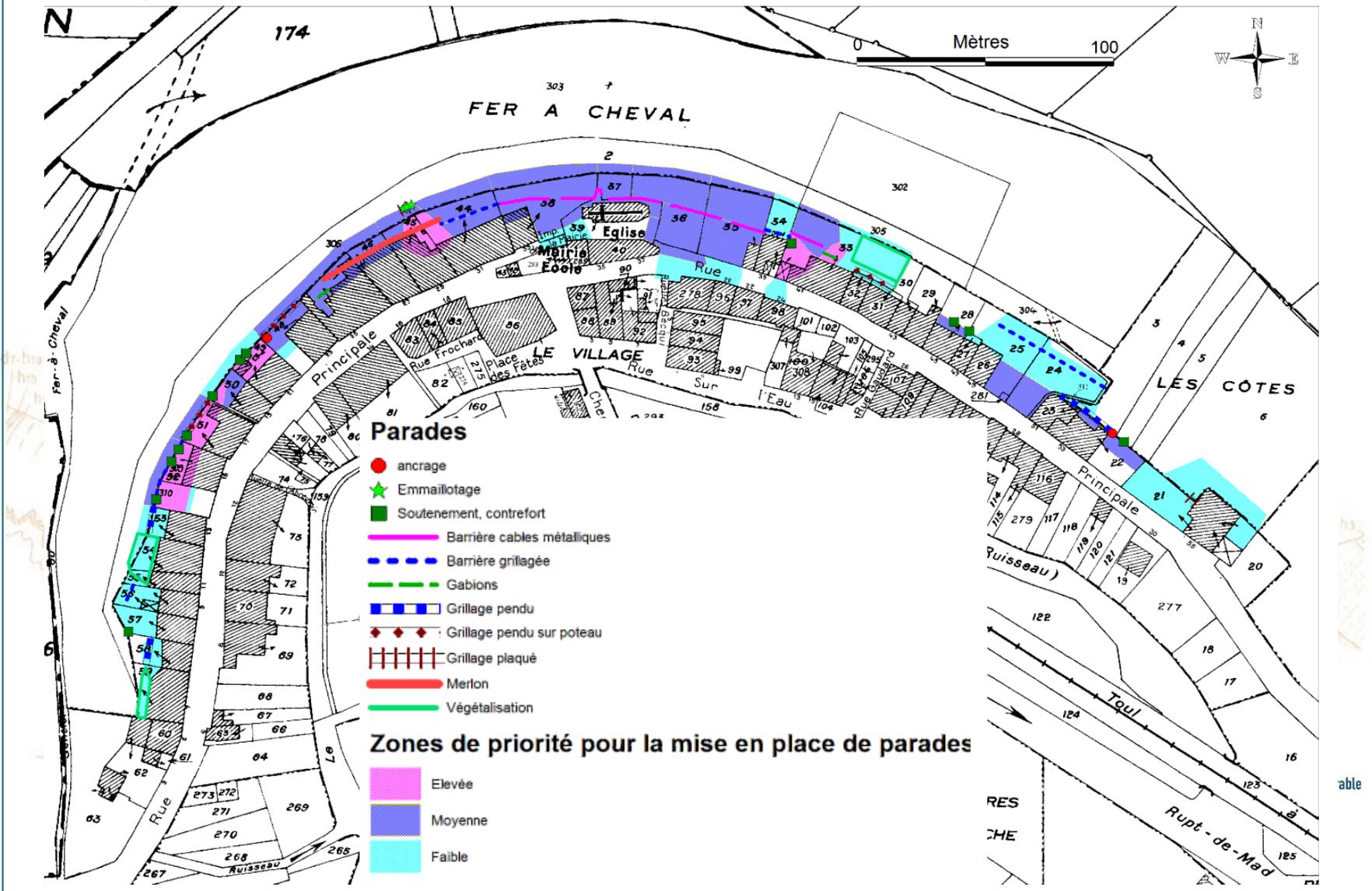
Chute de bloc : définition

Cartographie communale



Chute de bloc : définition

Cartographie communale

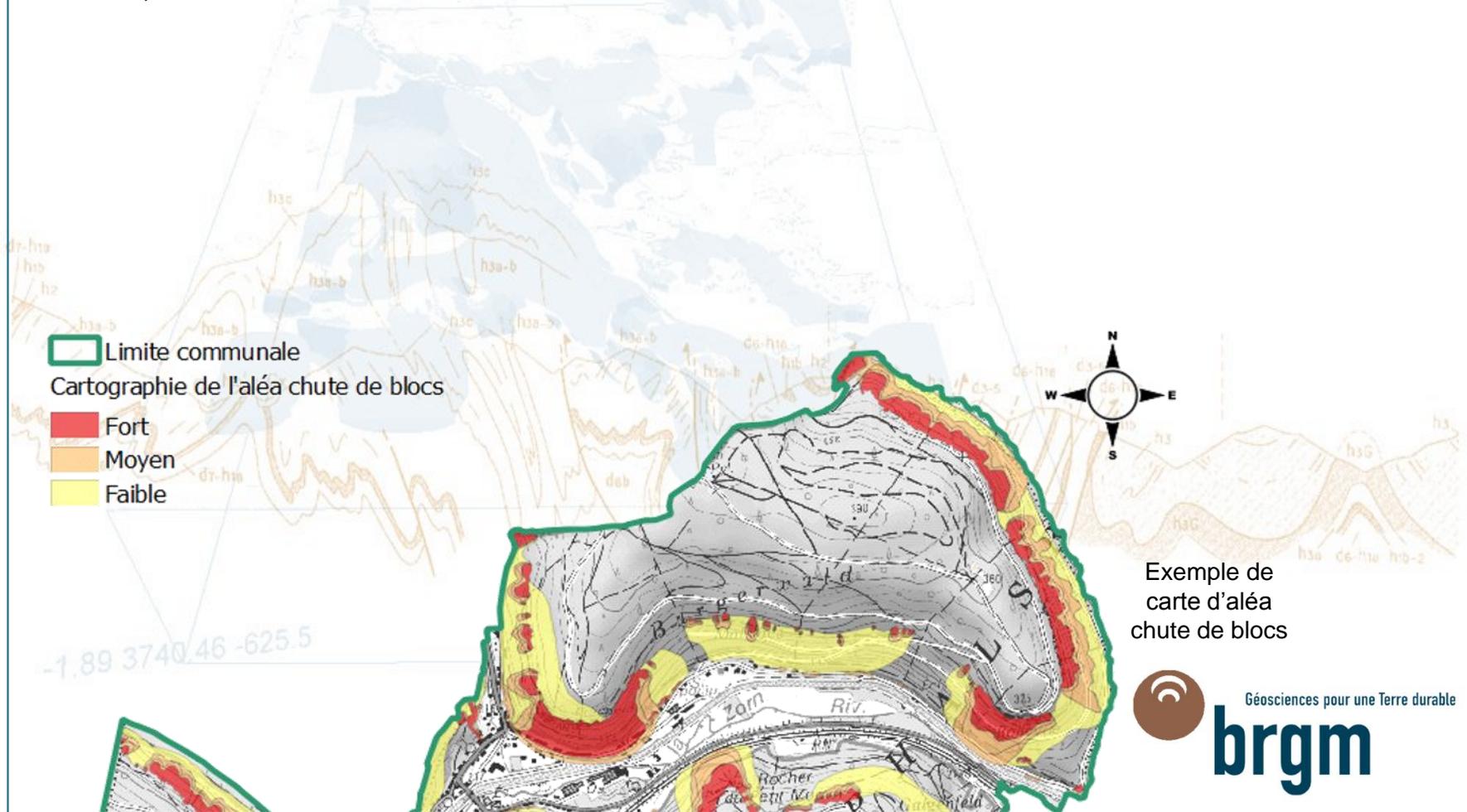


Aléa: définition



Méthodologie MEZAP le classe en 4 catégories :

Faible : Phénomènes d'ampleur limitée ou peu probable n'engendrant pas de dommage au gros oeuvre ;



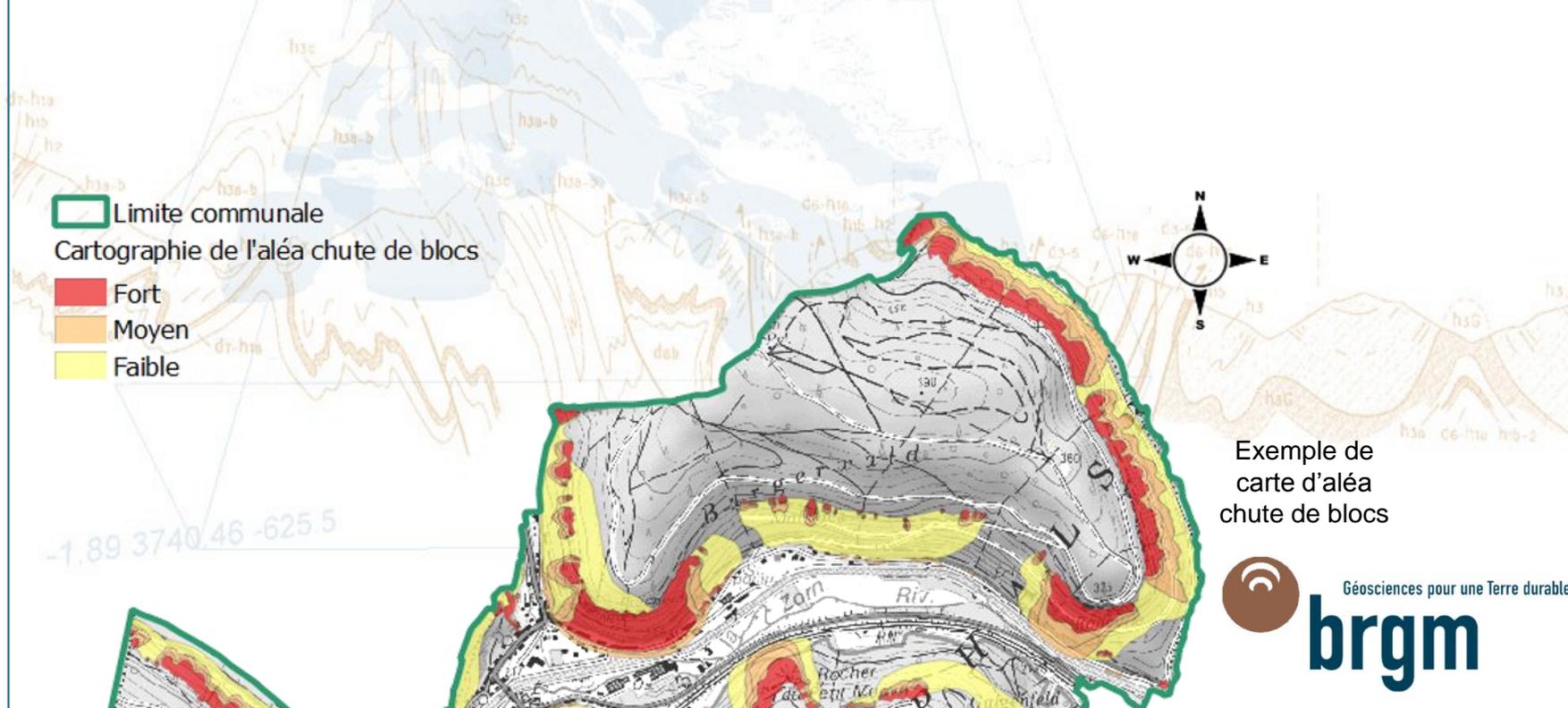
Aléa: définition



Méthodologie MEZAP le classe en 4 catégories :

Faible : Phénomènes d'ampleur limitée ou peu probable n'engendrant pas de dommages au gros oeuvre ;

Moyen : Phénomènes d'ampleur modérée ou très probable engendrant des dommages au gros oeuvre sans mise en ruine ;



Aléa: définition

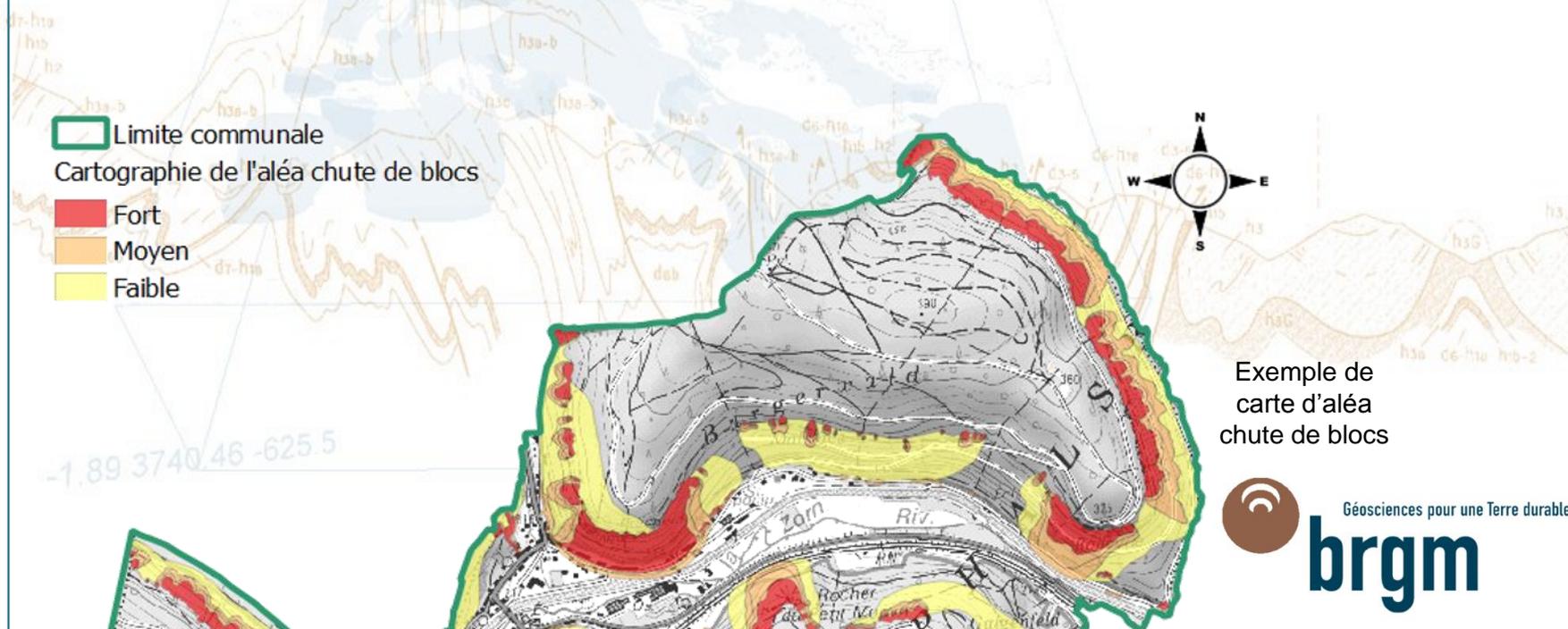


Méthodologie MEZAP le classe en 4 catégories :

Faible : Phénomènes d'ampleur limitée ou peu probable n'engendrant pas de dommages au gros oeuvre ;

Moyen : Phénomènes d'ampleur modérée ou très probable engendrant des dommages au gros oeuvre sans mise en ruine ;

Élevé : Phénomènes d'ampleur importante ou très probable engendrant des dommages au gros oeuvre pouvant conduire à la mise en ruine des bâtiments ;



Aléa: définition



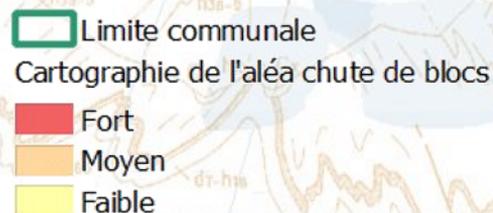
Méthodologie MEZAP le classe en 4 catégories :

Faible : Phénomènes d'ampleur limitée ou peu probable n'engendrant pas de dommages au gros oeuvre ;

Moyen : Phénomènes d'ampleur modérée ou très probable engendrant des dommages au gros oeuvre sans mise en ruine ;

Élevé : Phénomènes d'ampleur importante ou très probable engendrant des dommages au gros oeuvre pouvant conduire à la mise en ruine des bâtiments ;

Très élevé : Phénomènes d'ampleur importante ou très probable engendrant la mise en ruine certaine des bâtiments.



Exemple de carte d'aléa chute de blocs



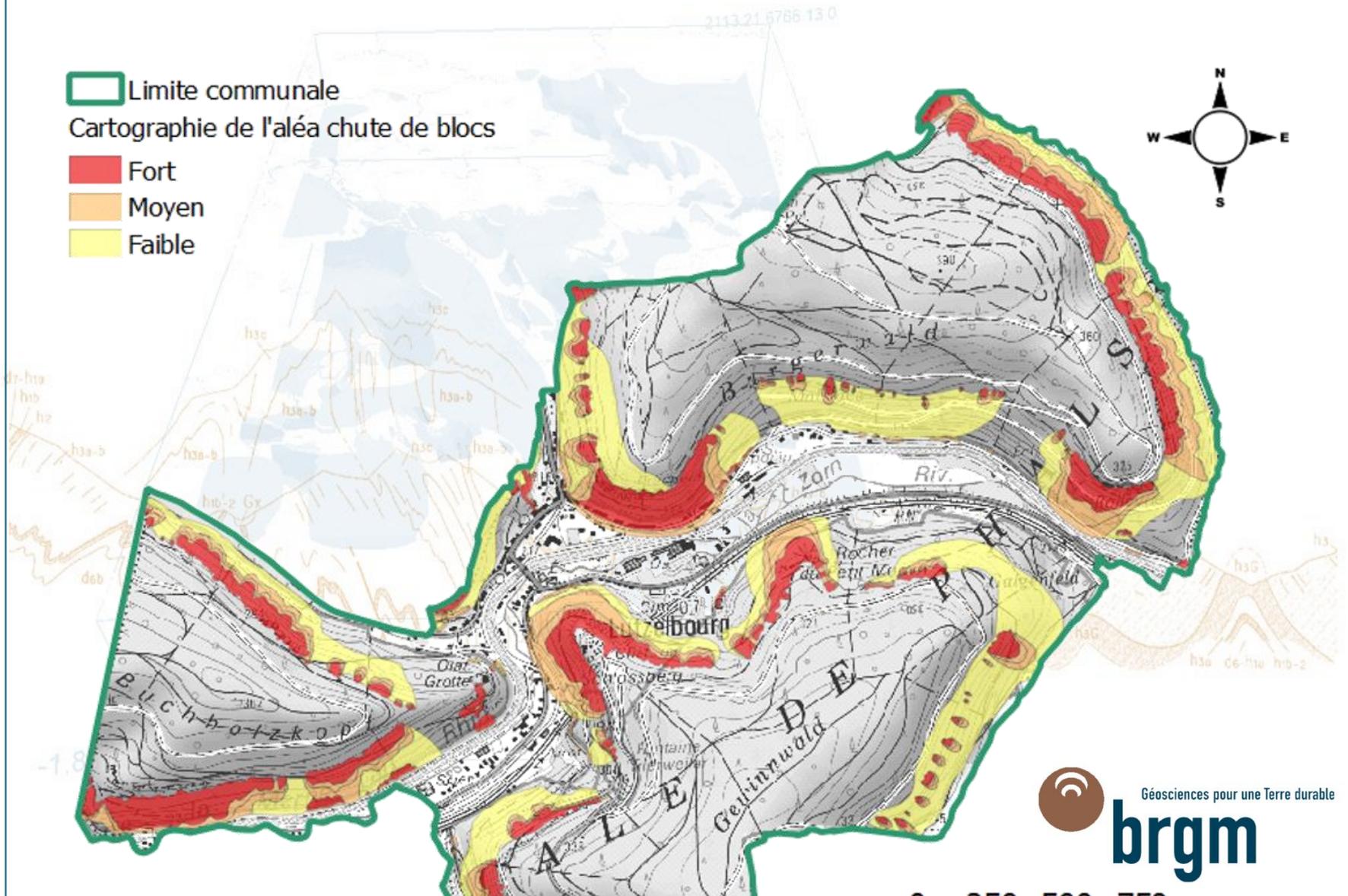
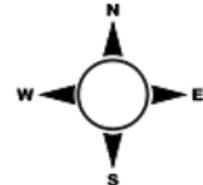
Caractérisation de l'aléa



 Limite communale

Cartographie de l'aléa chute de blocs

-  Fort
-  Moyen
-  Faible



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Caractérisation de l'aléa

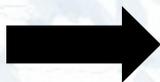
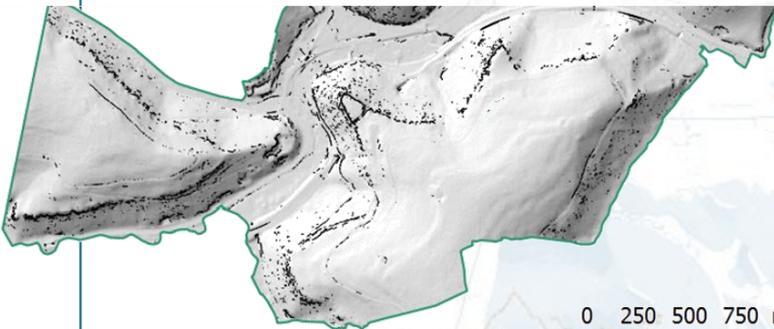


Caractérisation de l'aléa

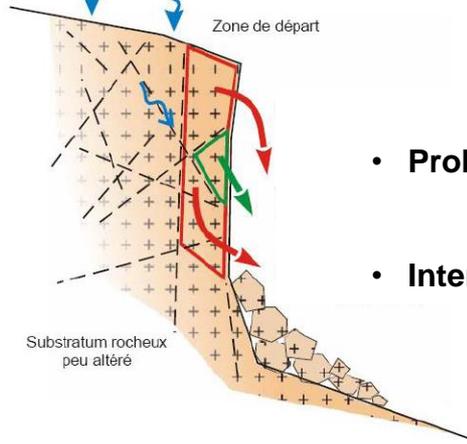


Zones de départ

Identification



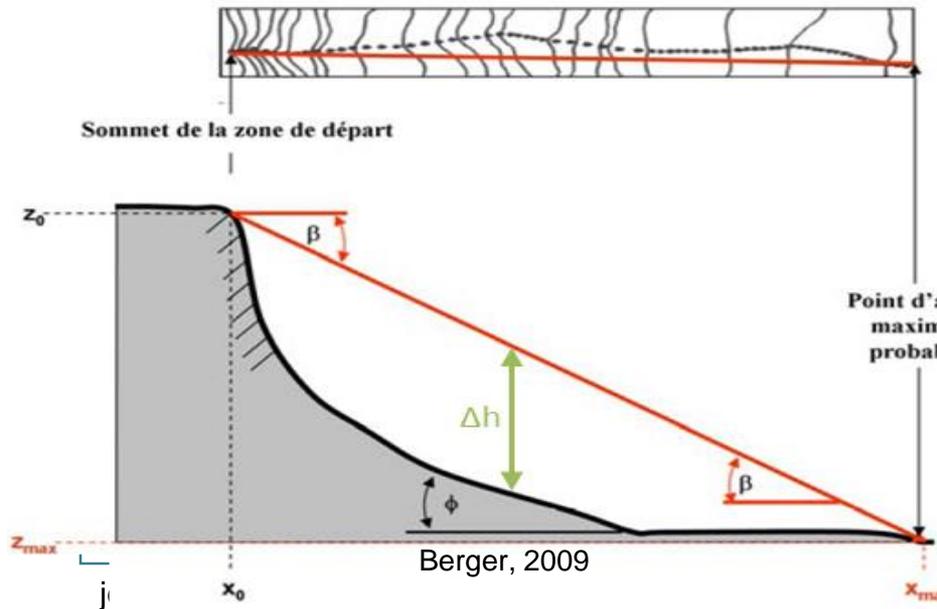
Expertise



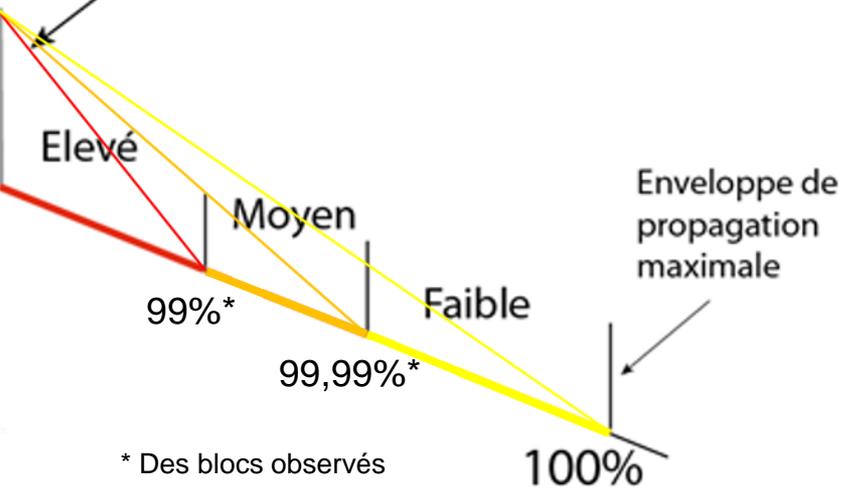
- Probabilité de rupture
- Intensité (volumes)

Limite communale
 Escarpement ou bloc supposé (pente supérieure à 57.9°)

Propagation

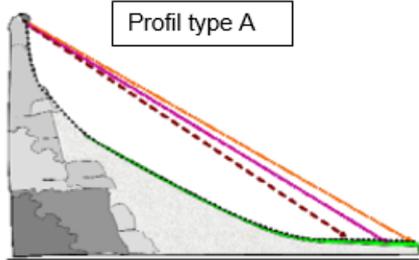


Escarpement



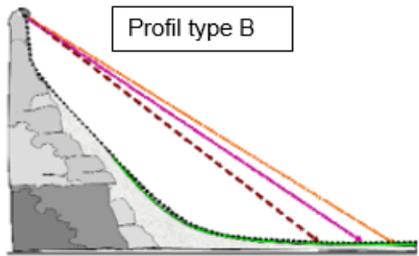
* Des blocs observés

Caractérisation de l'aléa : propagation



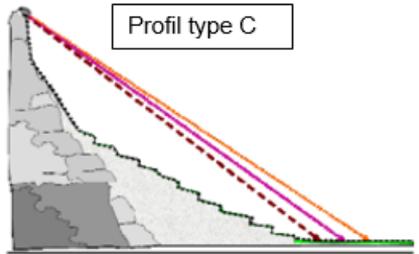
Profil type A

A : profil de pente régulière avec une distribution des blocs tout le long du versant.



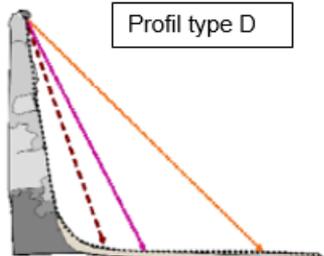
Profil type B

B : profil de pente régulière avec une distribution des blocs resserrée au niveau d'une zone de replat.



Profil type C

C : profil de pente irrégulière avec une distribution des blocs tout le long du versant.

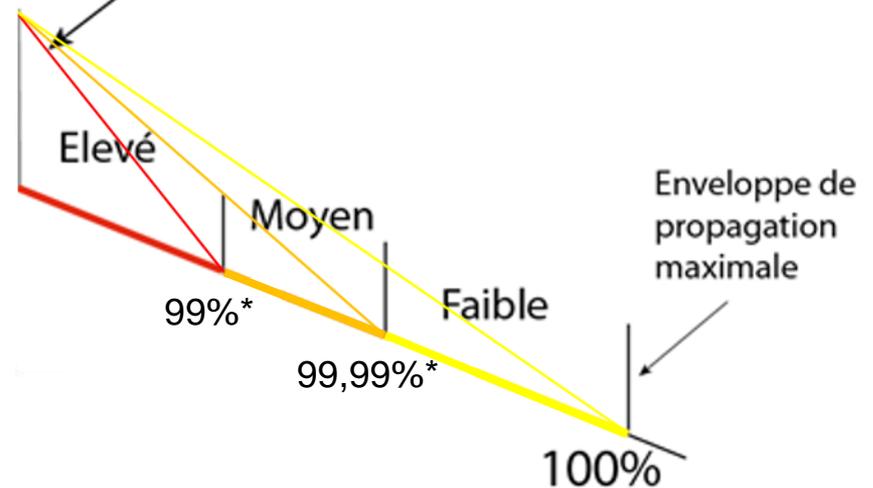


Profil type D

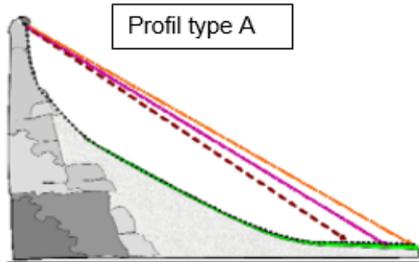
D : replat marqué immédiatement en pied de zone de départ.



Escarpement

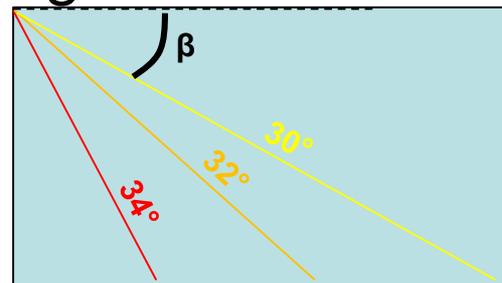


Caractérisation de l'aléa : propagation

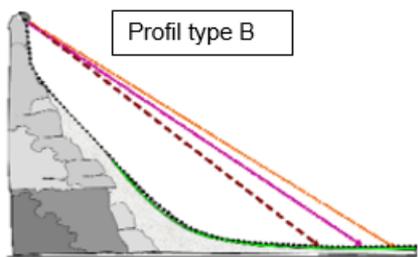


Profil type A

A : profil de pente régulière avec une distribution des blocs tout le long du versant.

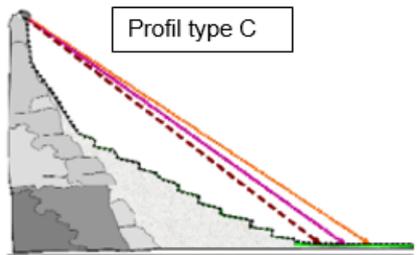
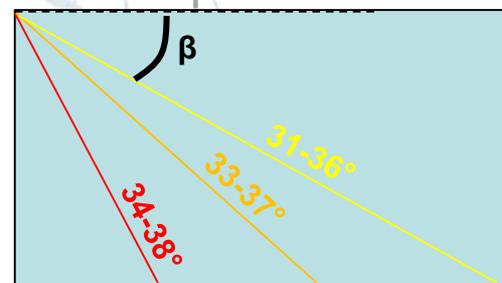


is et expertise de terrain ;



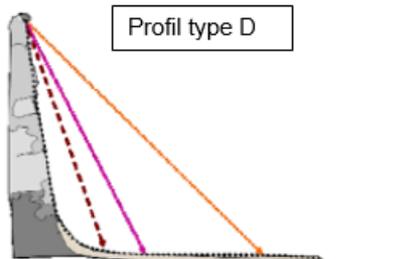
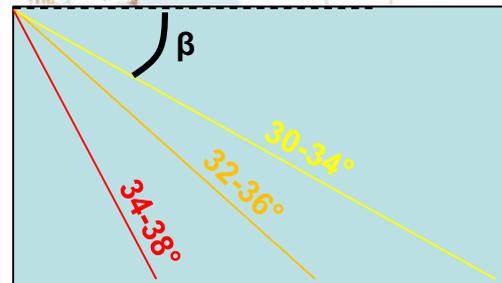
Profil type B

B : profil de pente régulière avec une distribution des blocs resserrée au niveau d'une zone de replat.



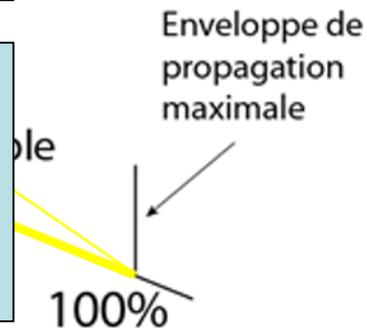
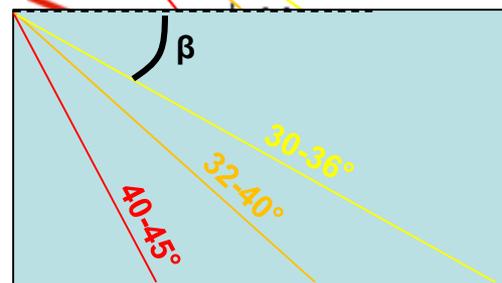
Profil type C

C : profil de pente irrégulière avec une distribution des blocs tout le long du versant.



Profil type D

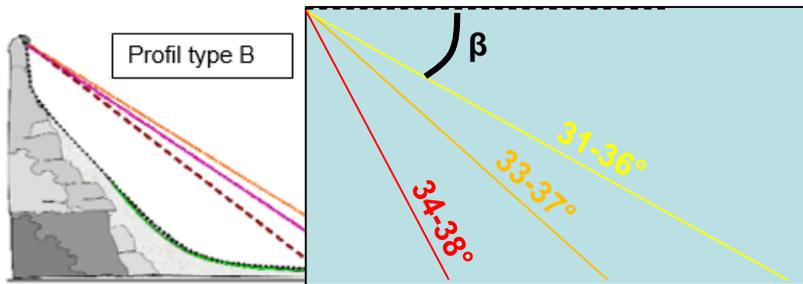
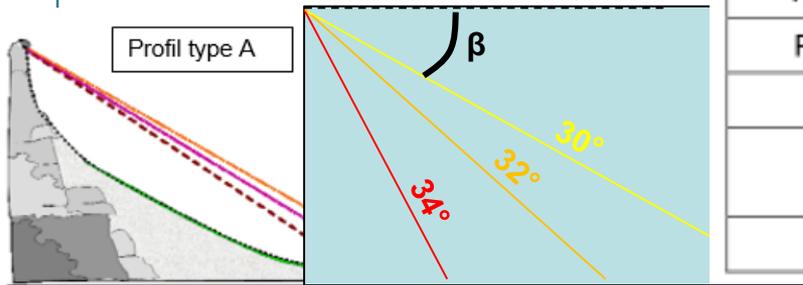
D : replat marqué immédiatement en pied de zone de départ.



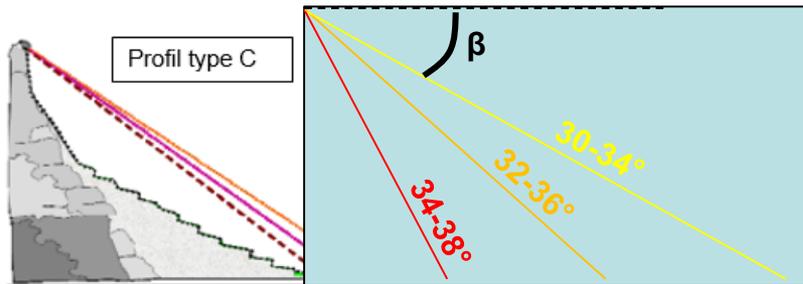
Caractérisation de l'alea



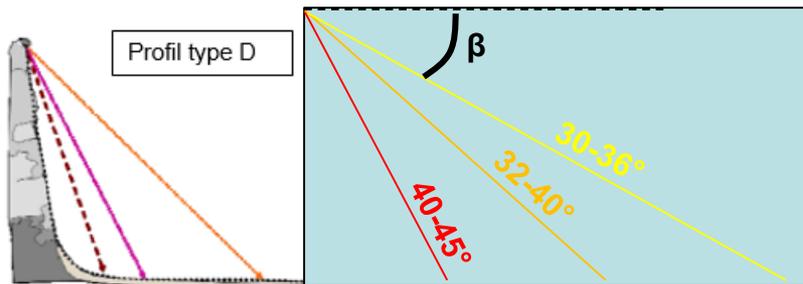
Type	Nombre de sites étudiés	Nombre d'évènements
Réunionnais	32	76
Polynésiens	2	3
Pyrénéens	42	46
Alpins	99 (dont 18 suisses)	2633 (dont 2507 suisses)
Total	150	2758



avec une
au niveau

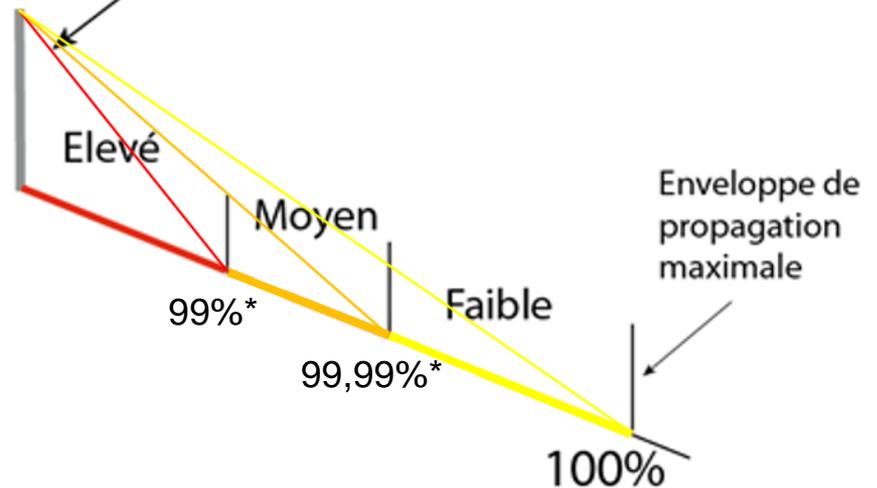


avec une
du versant.

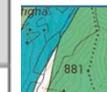


t en pied de

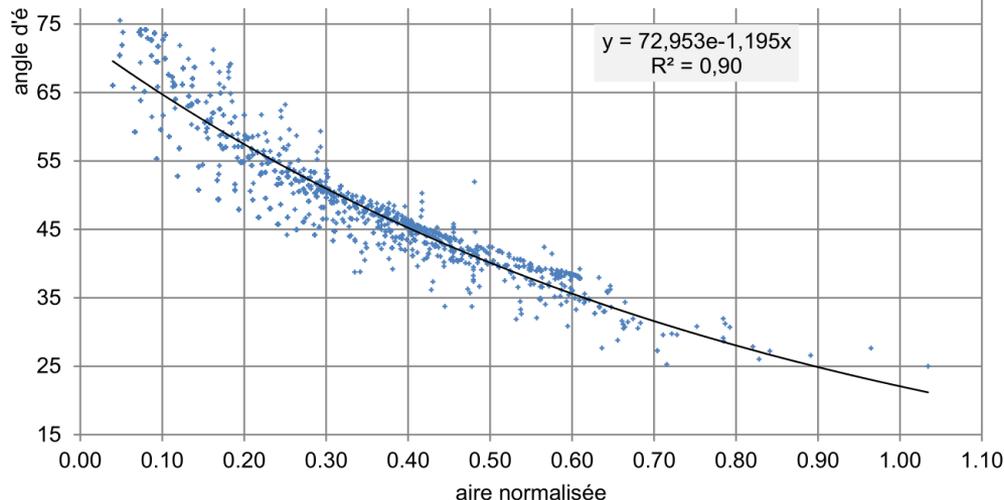
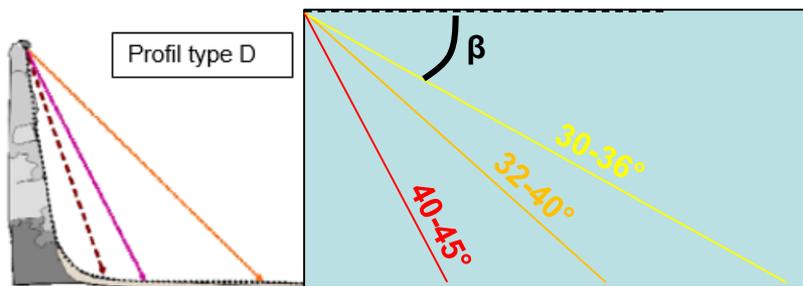
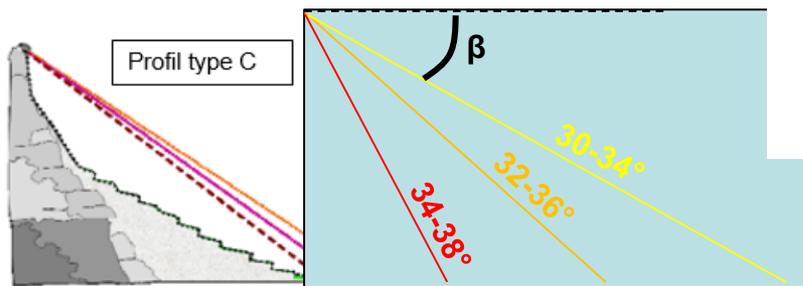
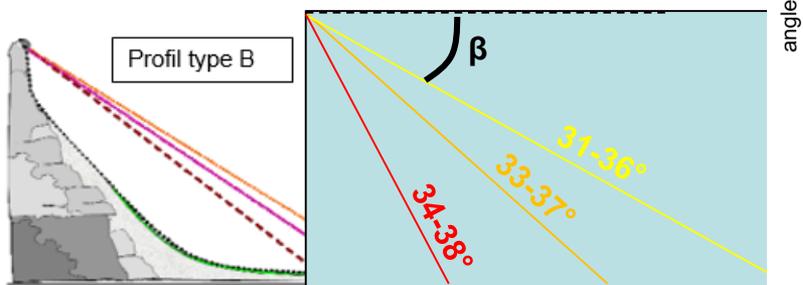
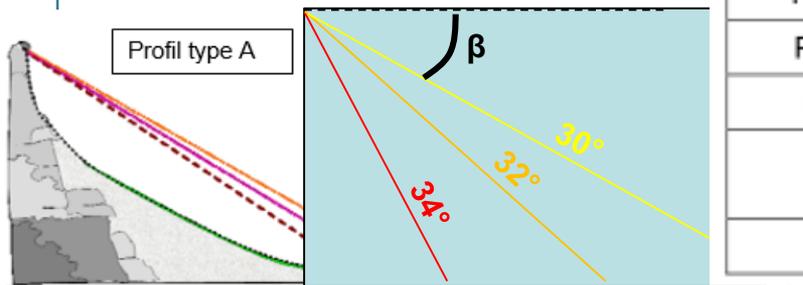
Escarpement



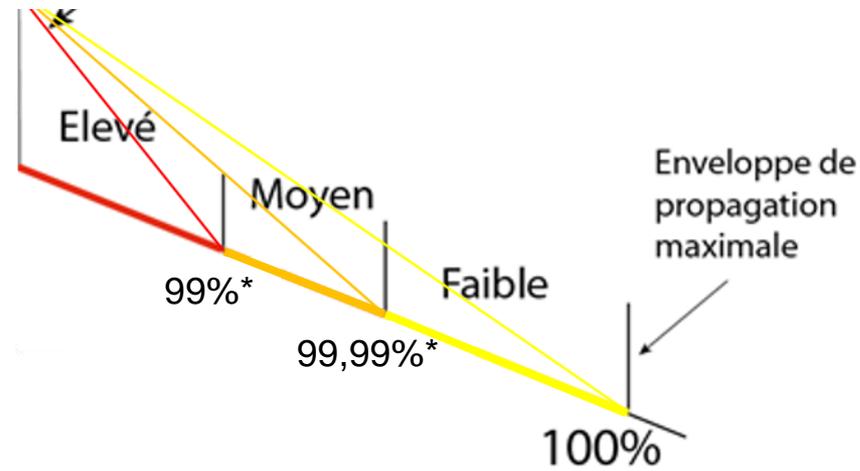
Caractérisation de l'angle



Type	Nombre de sites étudiés	Nombre d'évènements
Réunionnais	32	76
Polynésiens	2	3
Pyrénéens	42	46
Alpins	99 (dont 18 suisses)	2633 (dont 2507 suisses)
Total	150	2758

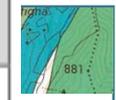


avec une du versant.

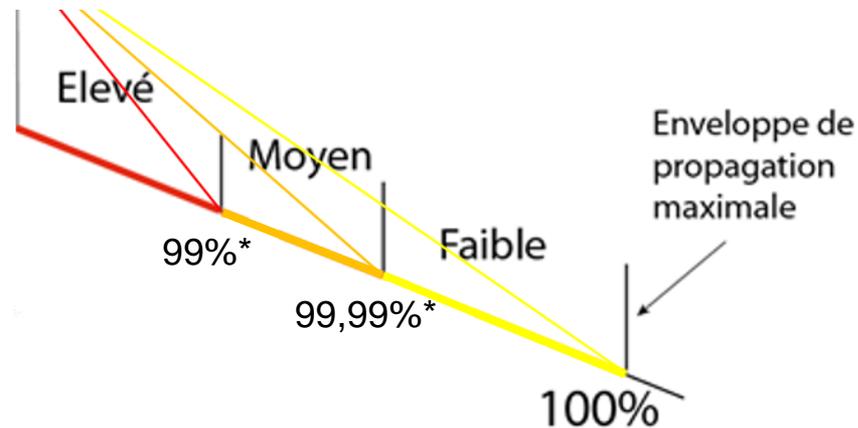
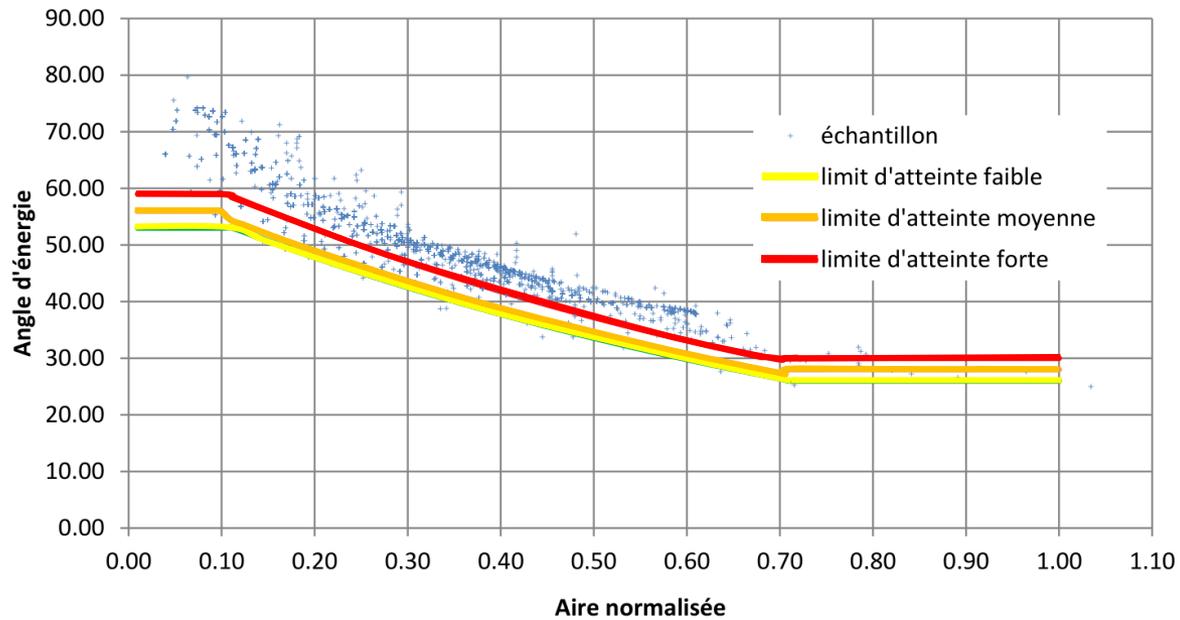
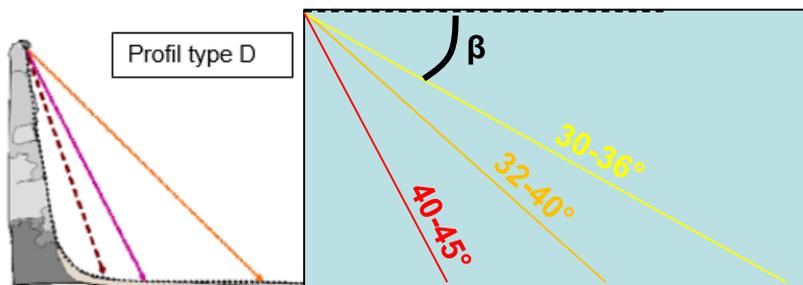
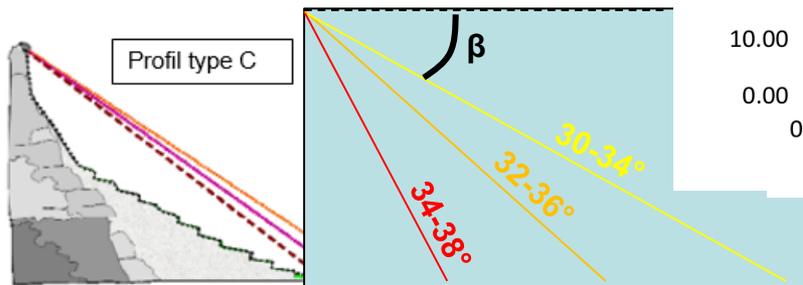
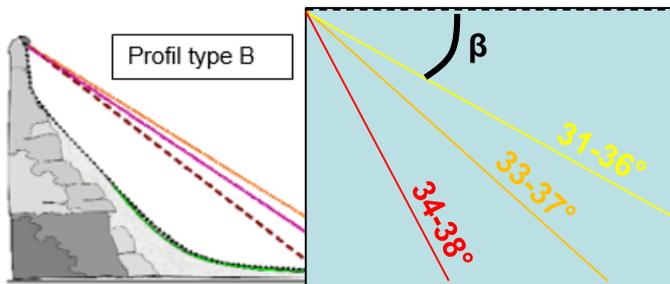
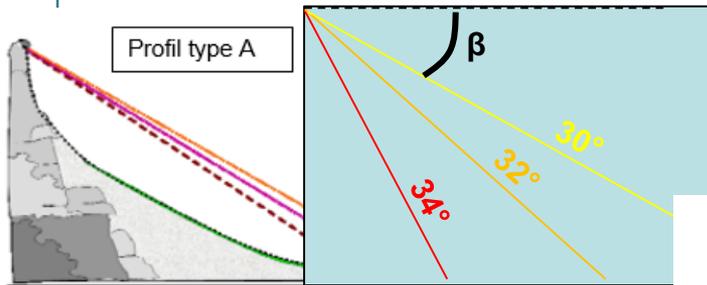


t en pied de

Caractérisation de l'angle d'énergie



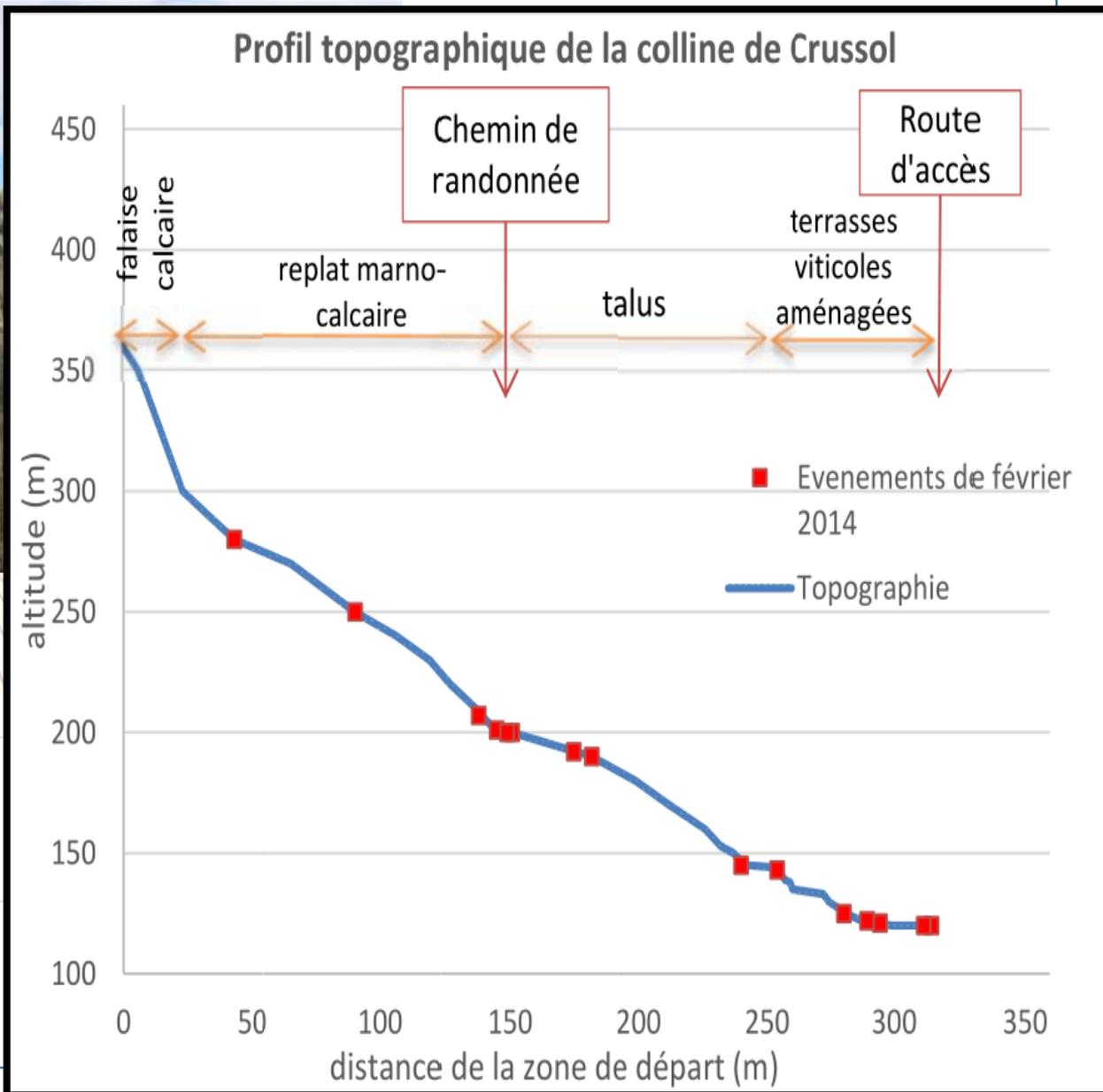
Type	Nombre de sites étudiés	Nombre d'évènements
Réunionnais	32	76
Polynésiens	2	3
Pyrénéens	42	46
Alpins	99 (dont 18 suisses)	2633 (dont 2507 suisses)



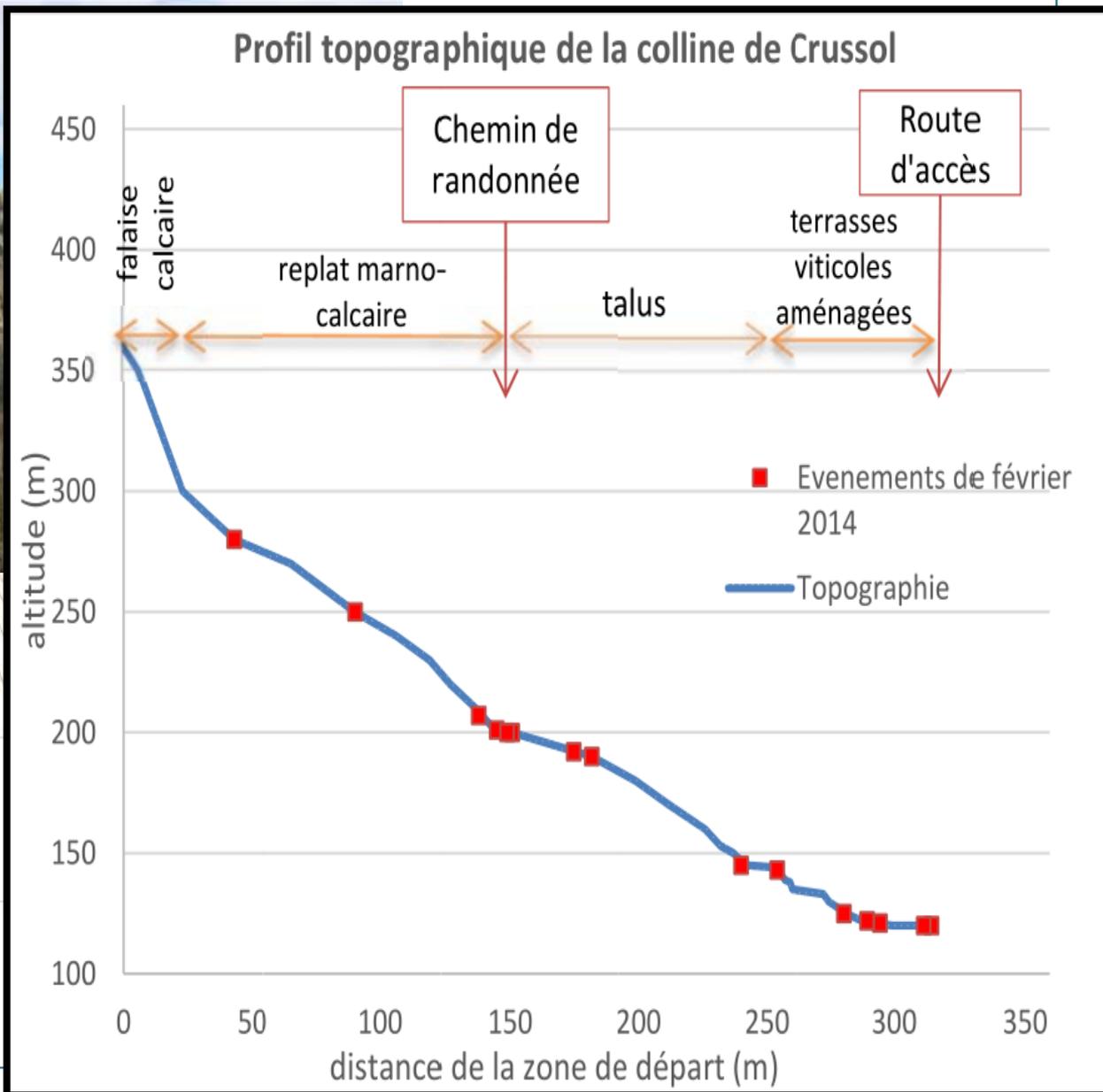
du versant.

t en pied de

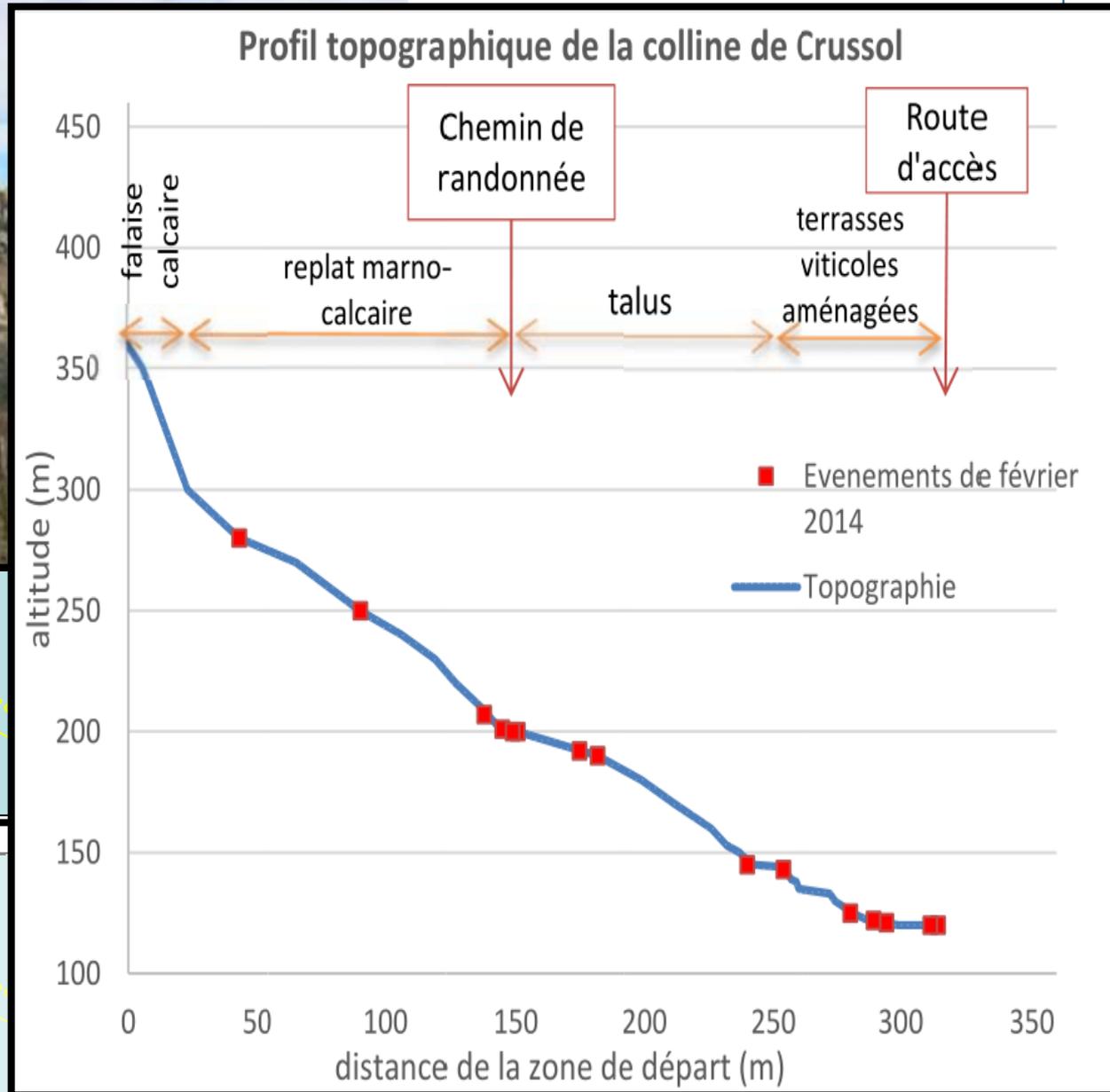
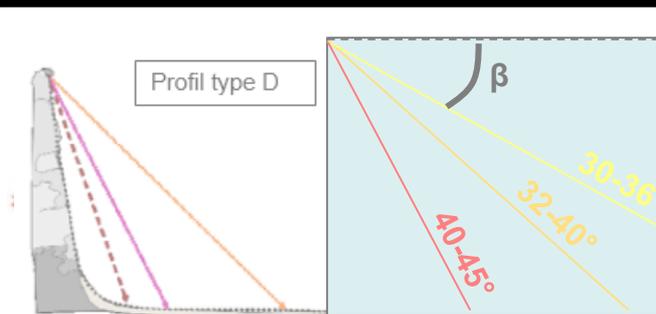
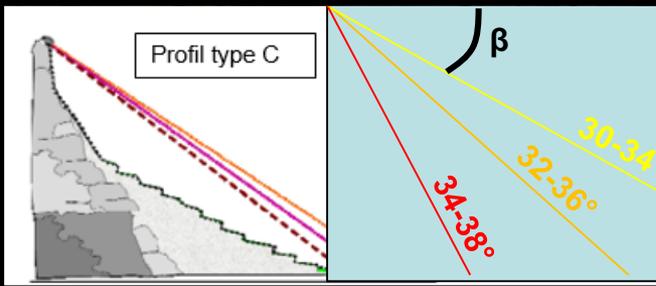
Caractérisation de l'aléa : propagation



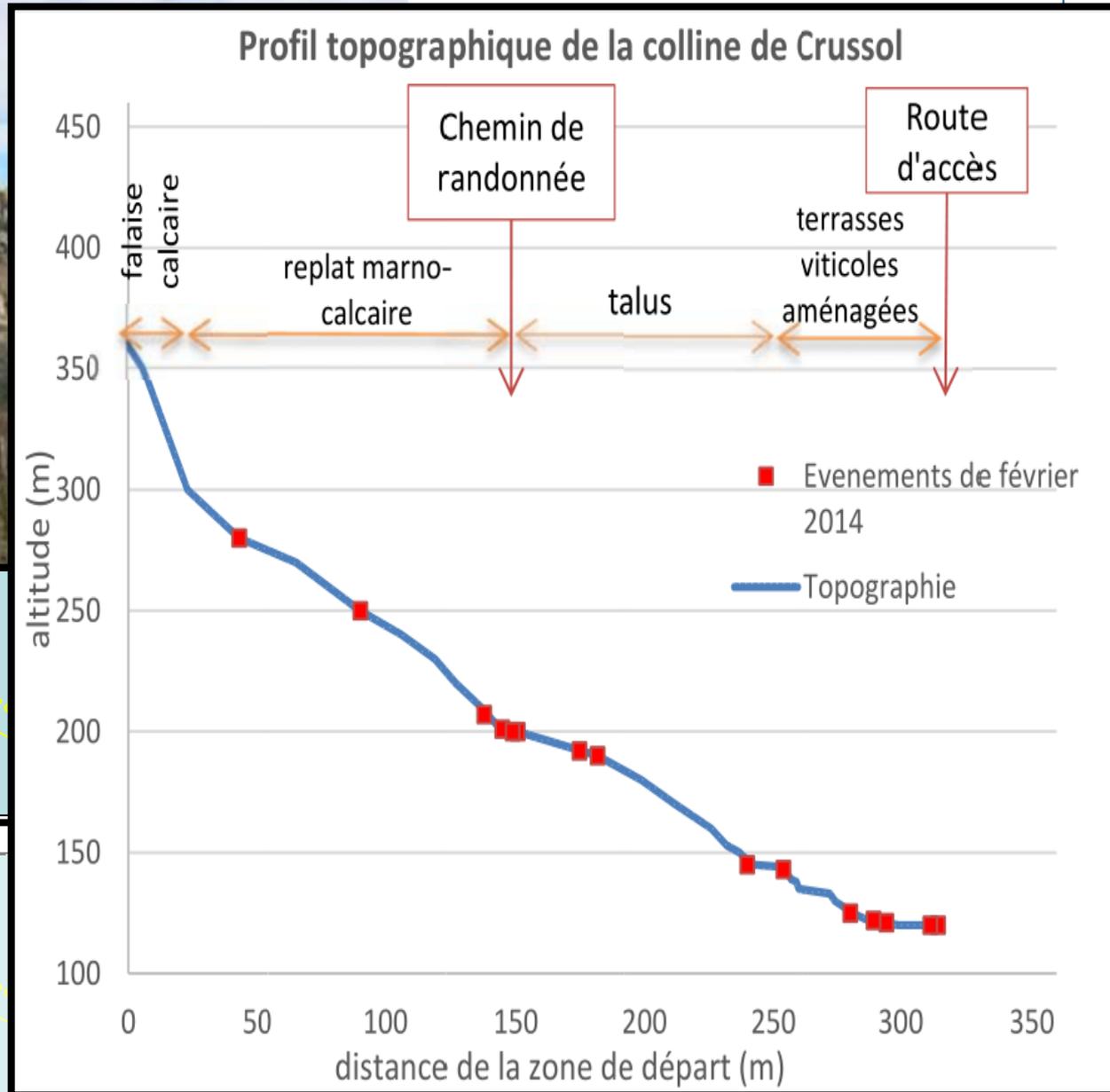
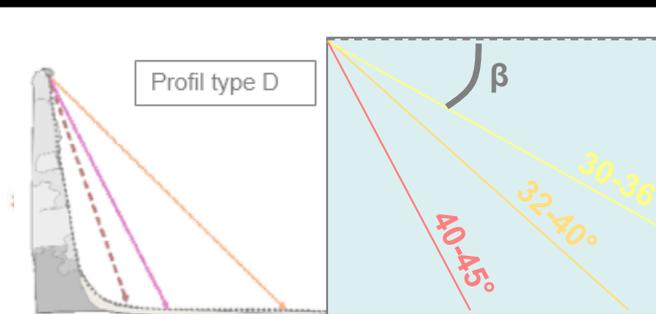
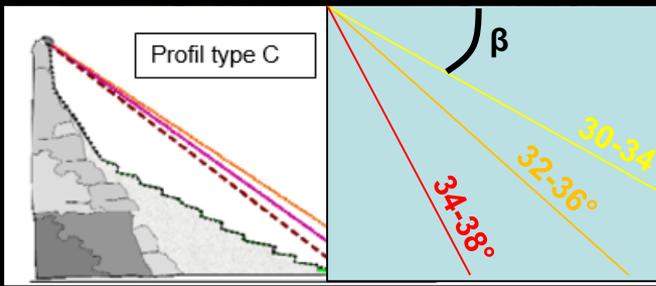
Caractérisation de l'aléa : propagation



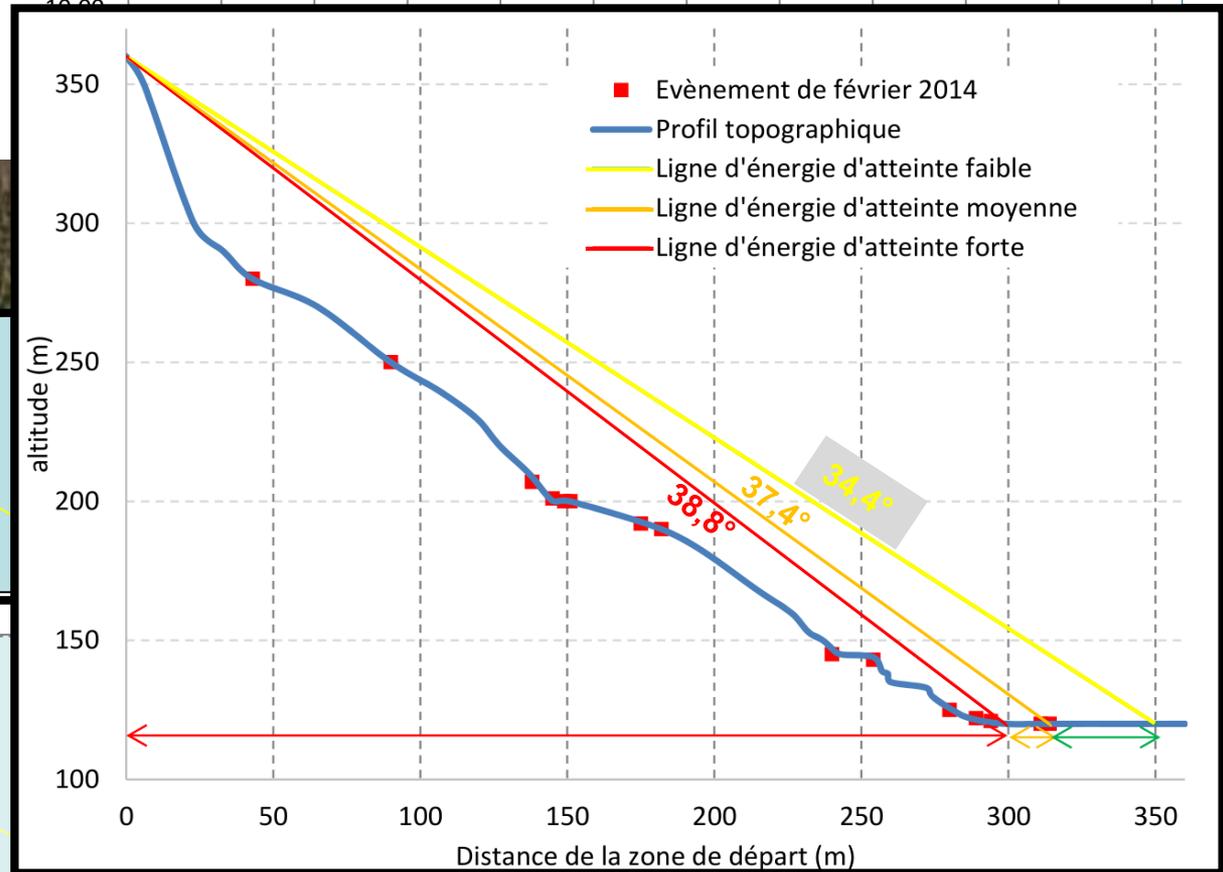
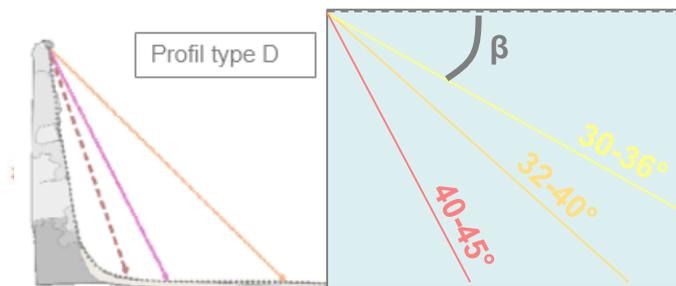
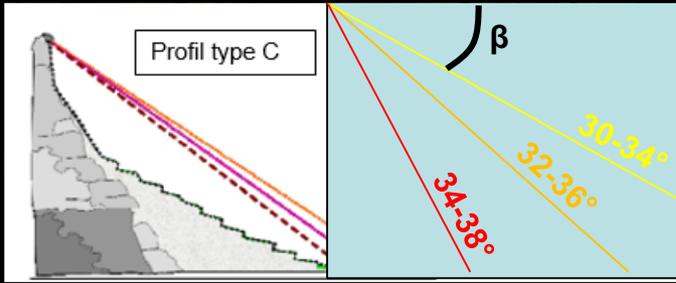
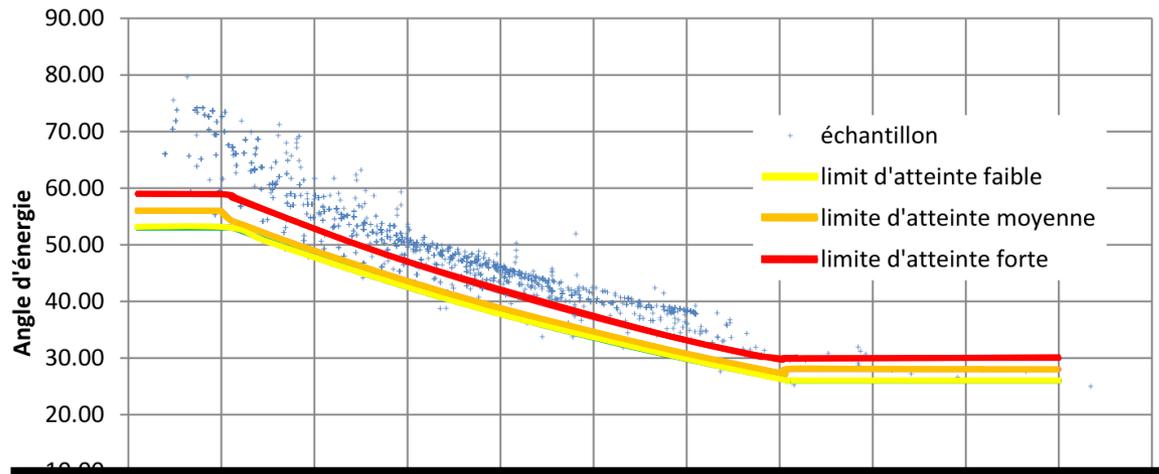
Caractérisation de l'aléa : propagation



Caractérisation de l'aléa : propagation



Caractérisation de l

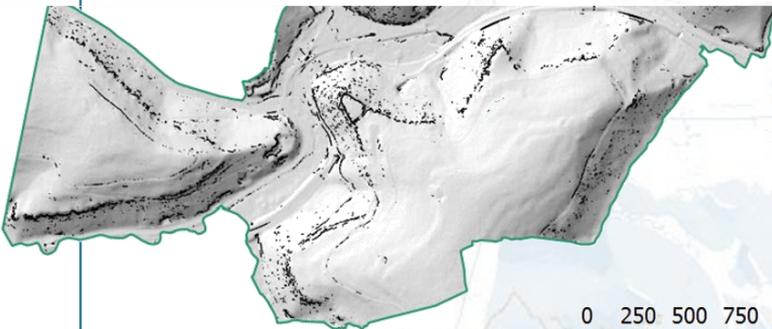


Caractérisation de l'aléa



Zones de départ

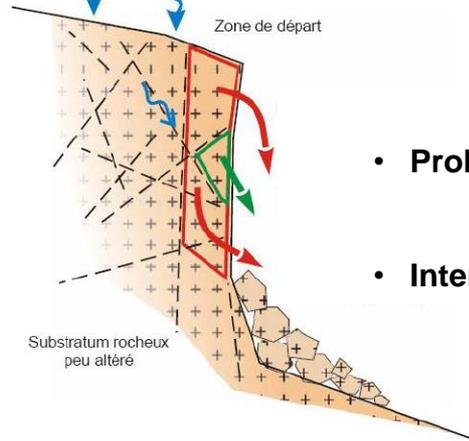
Identification



0 250 500 750 m

- Limite communale
- Escarpement ou bloc supposé (pente supérieure à 57.9°)

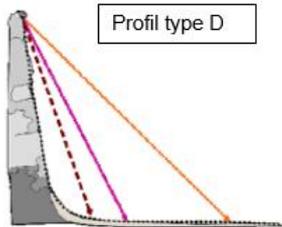
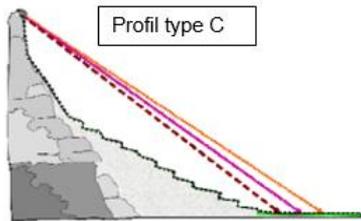
Expertise



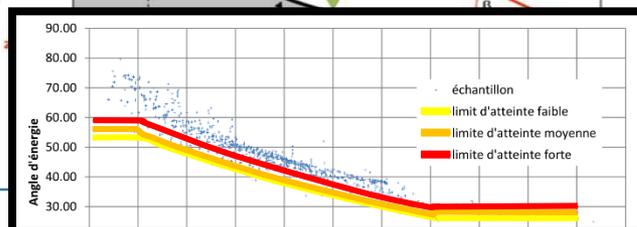
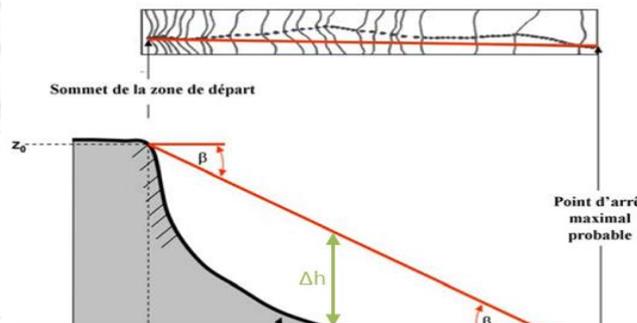
- Probabilité de rupture
- Intensité (volumes)

Propagation

Types de profils



Modélisation (ligne d'énergie)

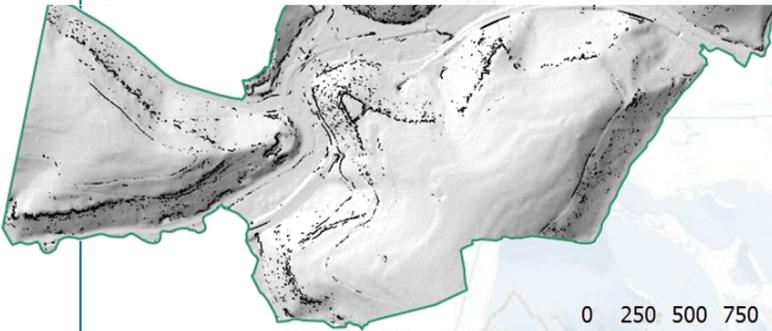


Caractérisation de l'aléa



Zones de départ

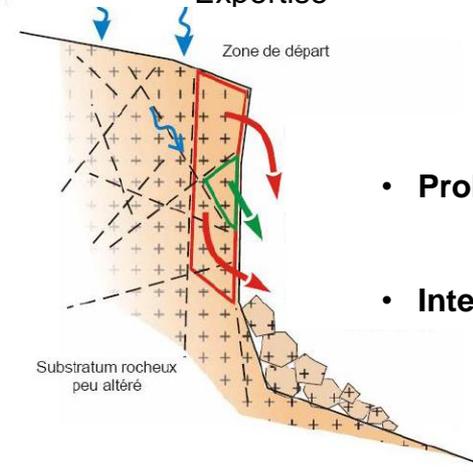
Identification



0 250 500 750 m

- Limite communale
- Escarpement ou bloc supposé (pente supérieure à 57.9°)

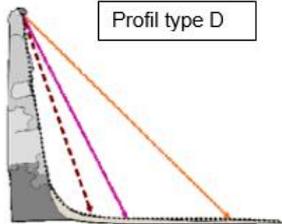
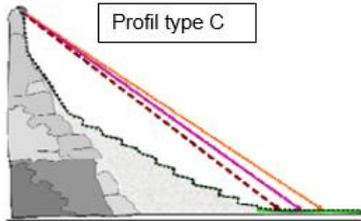
Expertise



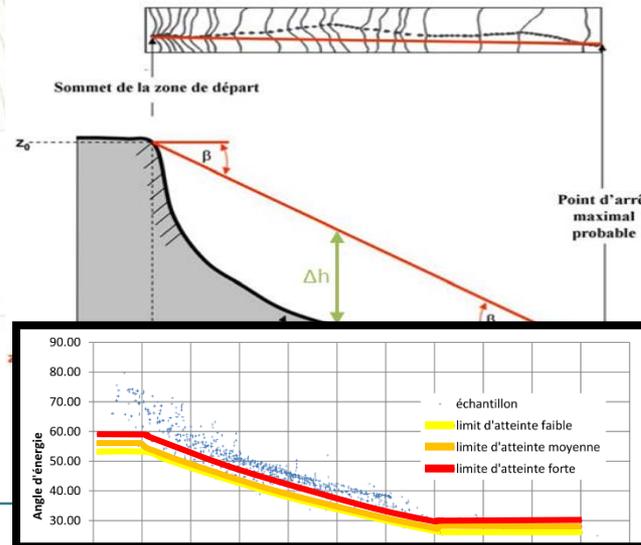
- Probabilité de rupture
- Intensité (volumes)

Propagation

Types de profils

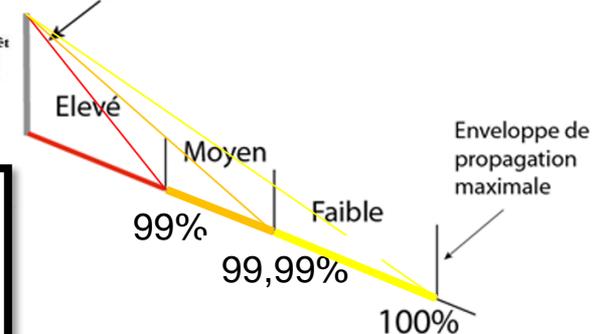


Modélisation (ligne d'énergie)

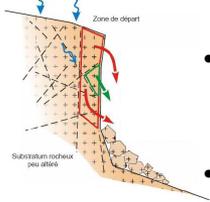


- Probabilité d'atteinte

Escarpement



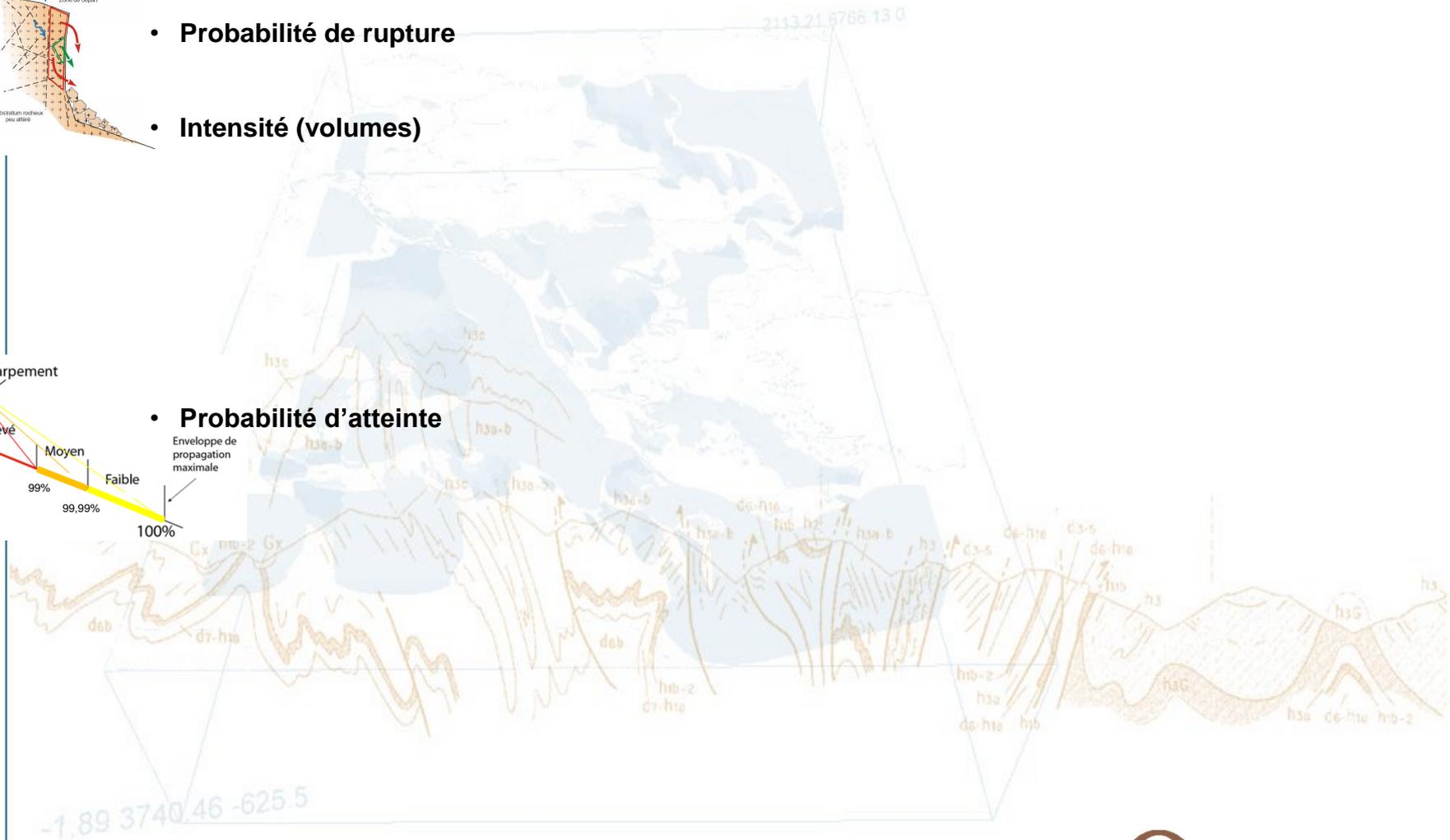
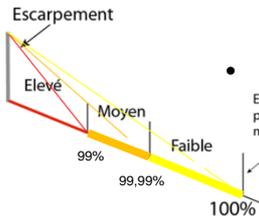
Caractérisation de l'aléa



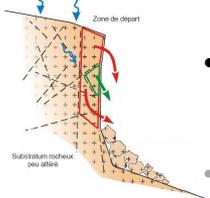
- Probabilité de rupture
- Intensité (volumes)

- Probabilité d'atteinte

Enveloppe de propagation maximale



Caractérisation de l'aléa



- Probabilité de rupture

- Intensité (volumes)

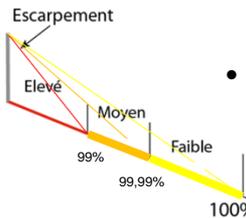
		Probabilité d'atteinte			
		Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
Probabilité de rupture	Faible	Faible	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Moyen	Modérée	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Fort	Modérée	Elevée	Elevée	Très Elevée

→ Probabilité d'occurrence

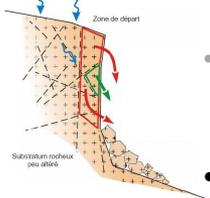
Issue de la méthodologie nationale MEZAP

- Probabilité d'atteinte

Enveloppe de propagation maximale



Caractérisation de l'aléa



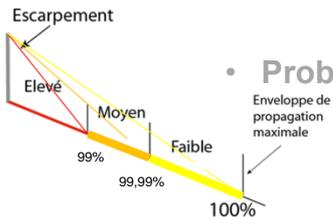
- Probabilité de rupture
- Intensité (volumes)

		Probabilité d'atteinte			
		Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
Probabilité de rupture	Faible	Faible	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Moyen	Modérée	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Fort	Modérée	Elevée	Elevée	Très Elevée

Issue de la méthodologie nationale MEZAP

Probabilité d'occurrence

- Probabilité d'atteinte



		Intensité			
		Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible	Modéré	Elevé	Elevé
	Modérée	Faible	Modéré	Elevé	Elevé
	Elevée	Modéré	Elevé	Elevé	Très élevé
	Très élevée	Elevé	Elevé	Très élevé	Très élevé

Issue de la méthodologie nationale MEZAP

➔ Aléa



Caractérisation de l'aléa



Aléa de propagation

Aléa de recul

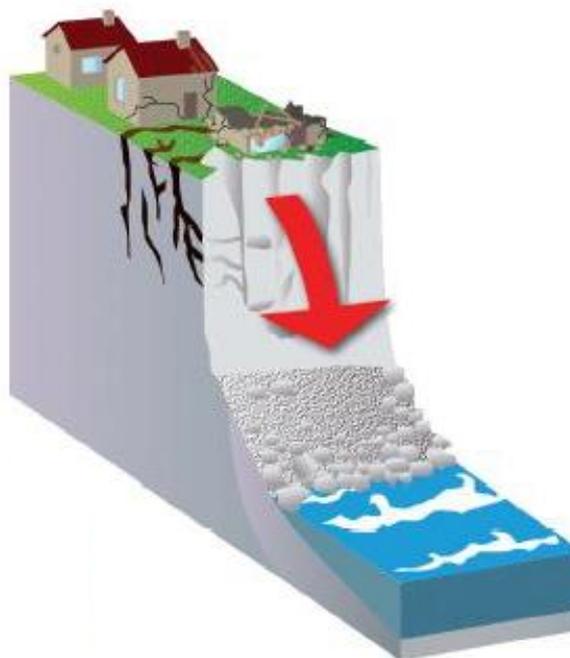
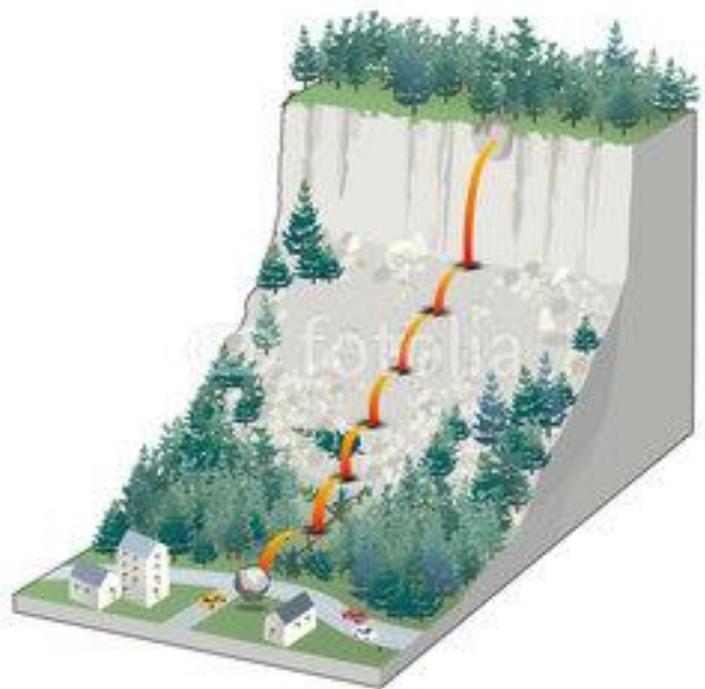


Caractérisation de l'aléa



Aléa de propagation

Aléa de recul



Caractérisation de l'aléa

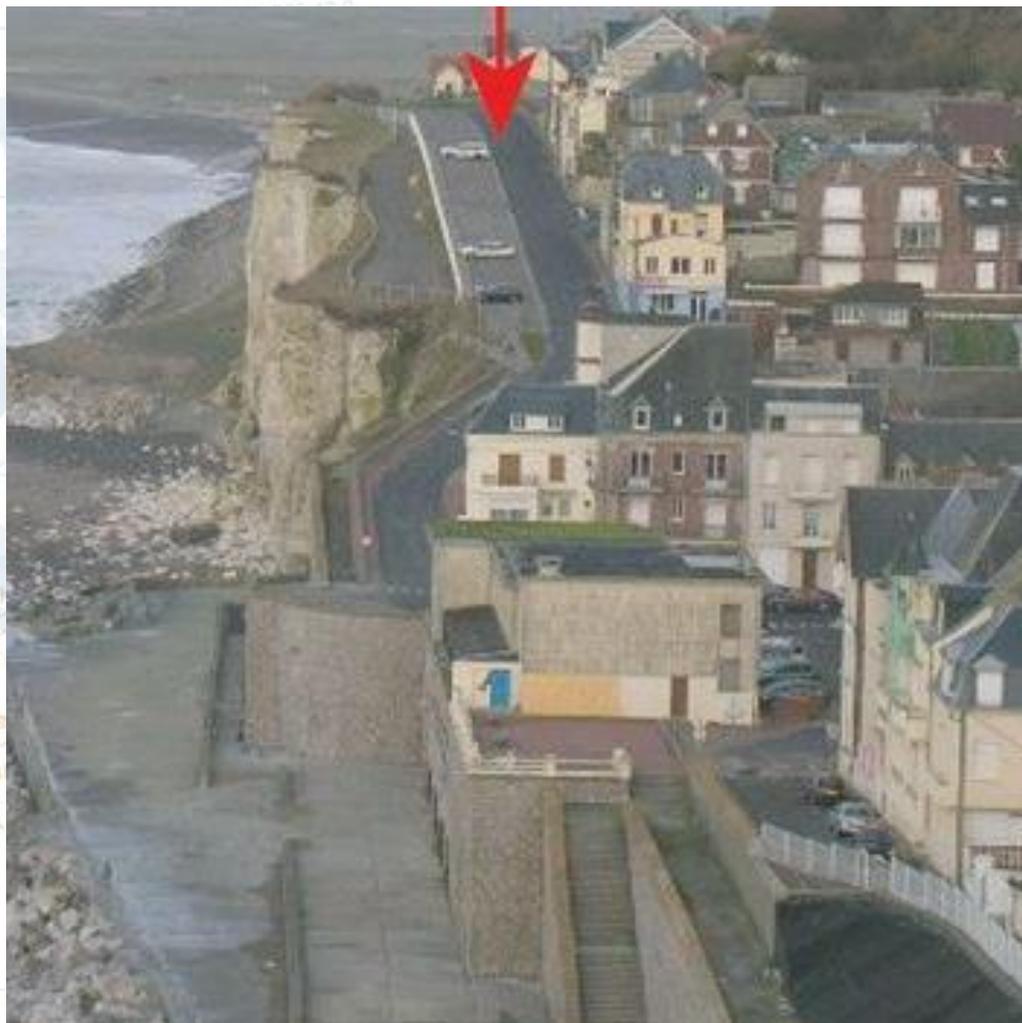
Aléa de recul



-1.89 3740.46 -625.5

Caractérisation de l'aléa

Aléa de recul



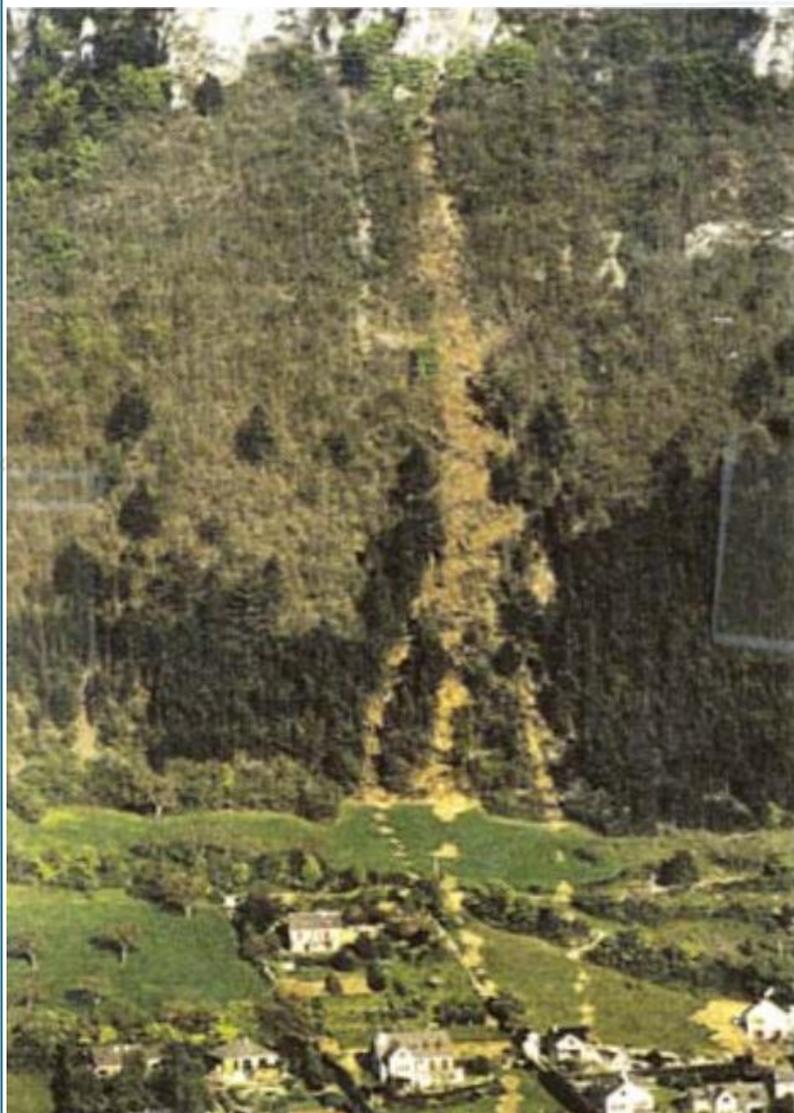
Ault (80, Somme)



Géosciences pour une terre durable

brgm

Phénomènes observés

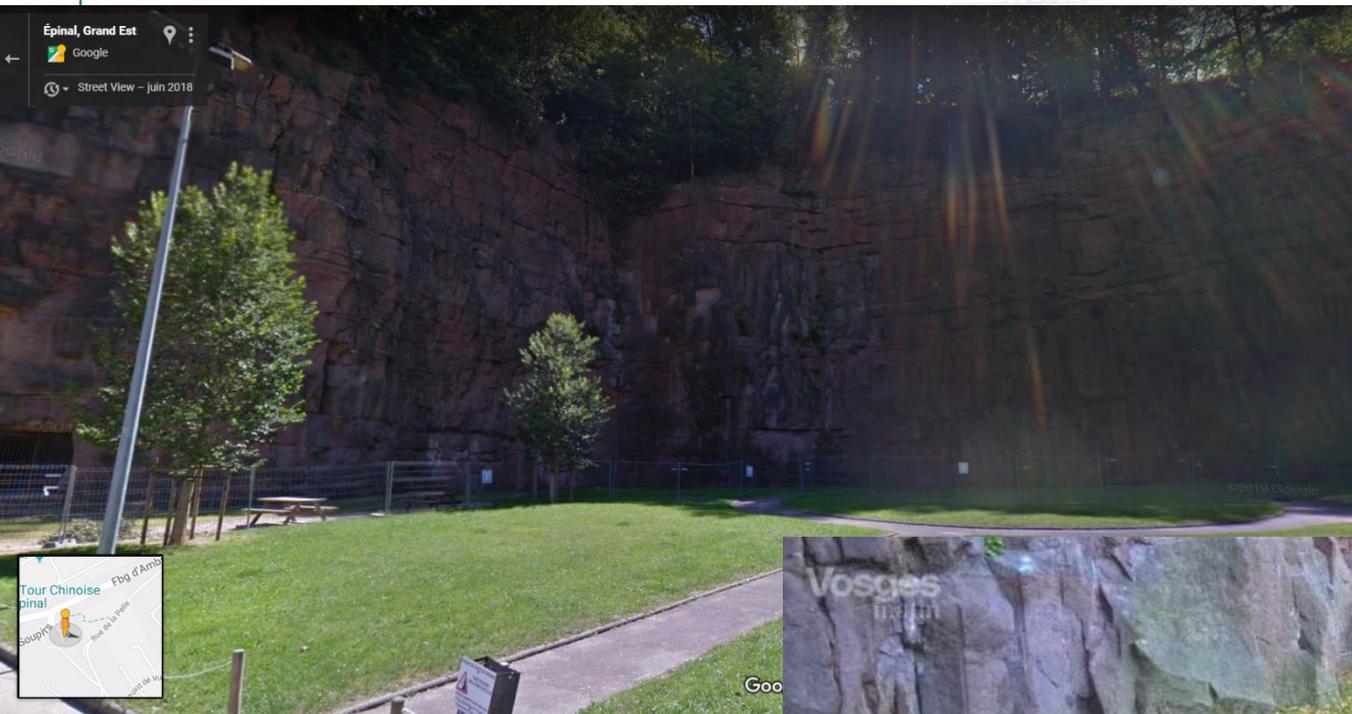


Barjac (Gard, 30)



Laroche-Saint-Cydroine (89)

Phénomènes observés



**Epinal (Vosges, 88)
Octobre 2017**



- Dimensions : 300 kg (100 - 150 L)
- Hauteur de chute : 30 - 35 m
- Angle d'énergie : 80°
- Intensité : Faible -> Aléa : Modéré

Phénomènes observés



Epinal (Vosges, 88) Février 2012

- Dimensions : 60 - 65 t (25 m³)
- Hauteur de chute : 10 - 12 m
- Angle d'énergie : 40°
- Intensité : Très élevée -> Aléa : Très élevé



Phénomènes observés



Eschbourg (Bas-Rhin, 67)
Mars 2016

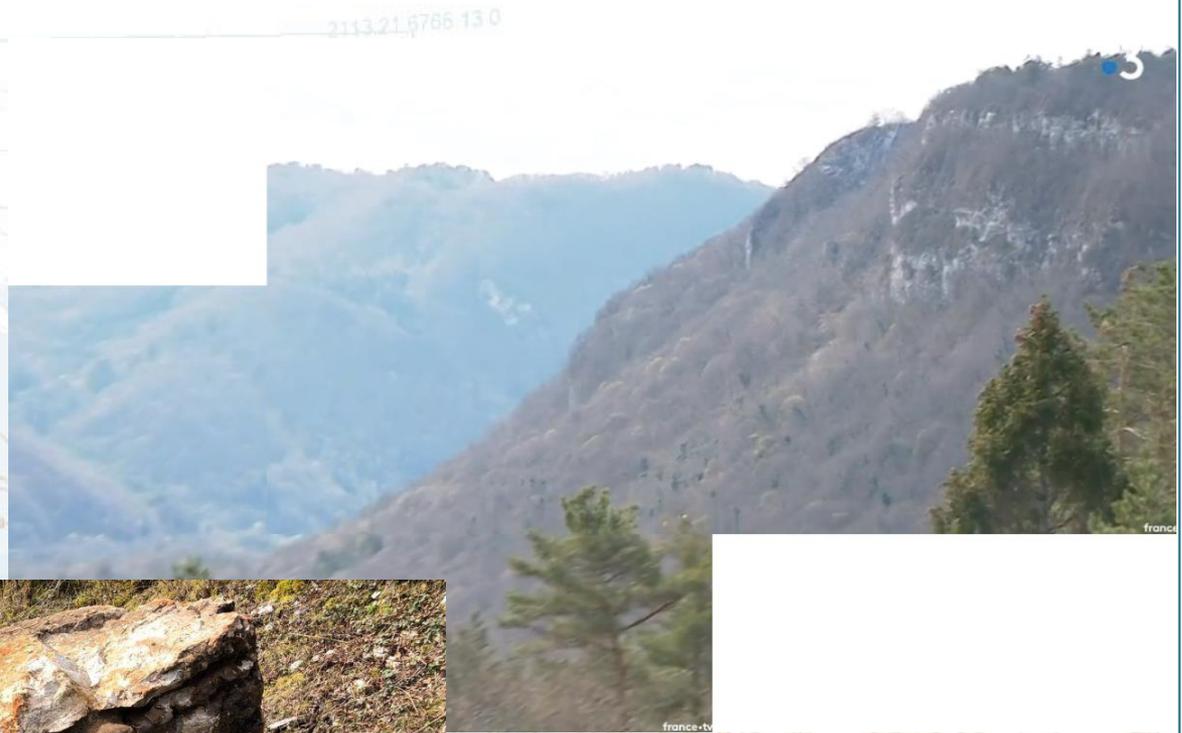


- Dimensions : 420 - 470 t (environ 30m³)
- Hauteur de chute : 4 - 5 m
- Angle d'énergie : 45°
- Intensité : Très élevée -> Aléa : Très élevé

Phénomènes observés



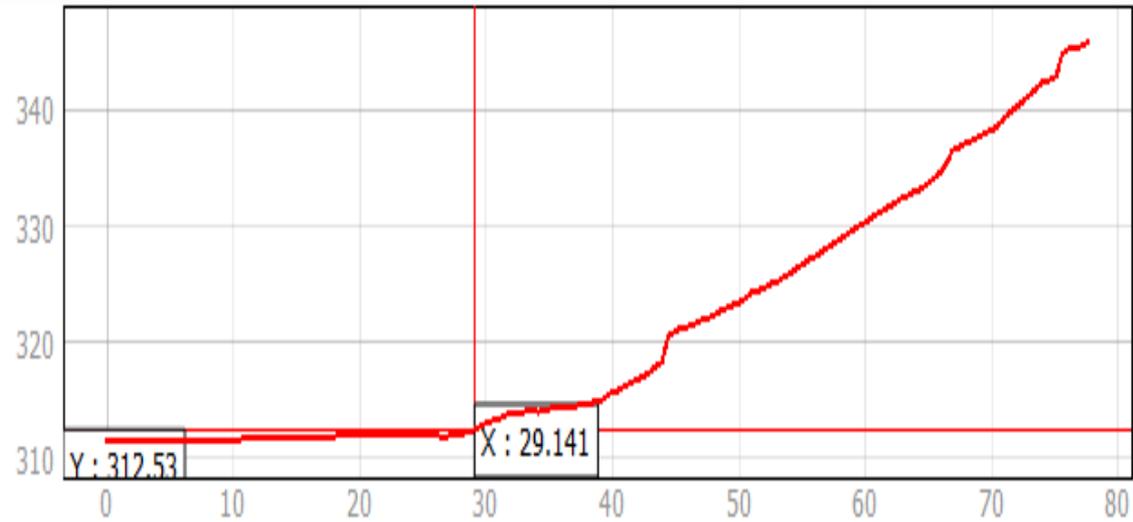
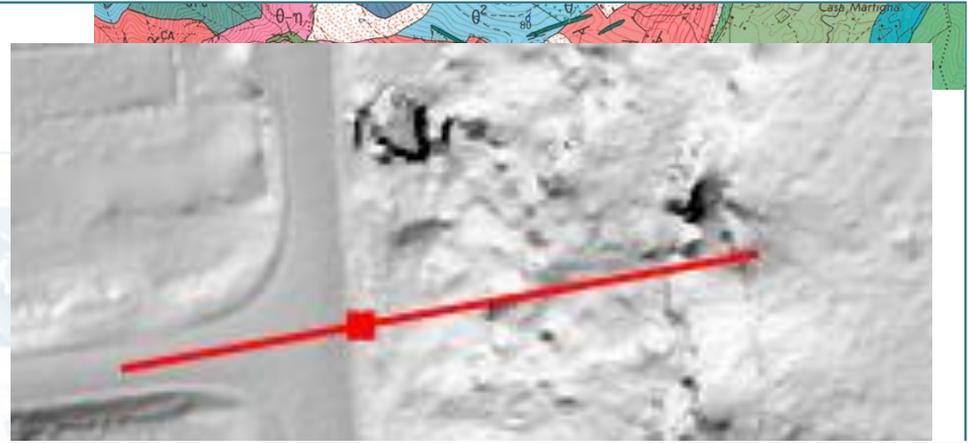
**Corveissiat (Ain, 01)
Mars 2019**



- Dimensions : 10 - 12 t (environ 4,5 m³)
- Hauteur de chute : 100 - 120 m
- Angle d'énergie : 38°
- Intensité : Élevée -> Aléa : Élevé

Phénomènes observés

Val et Chatillon (Meurthe et Moselle, 54)
Février 1979



- Dimensions : 300 t (environ 120 m³)
- Hauteur de chute : 25 - 30 m
- Angle d'énergie : 33°
- Intensité : Très élevée -> Aléa : Très élevé

sciences pour une Terre durable

gm

Parades



➤ **Parades actives** : Diminution de la probabilité de rupture

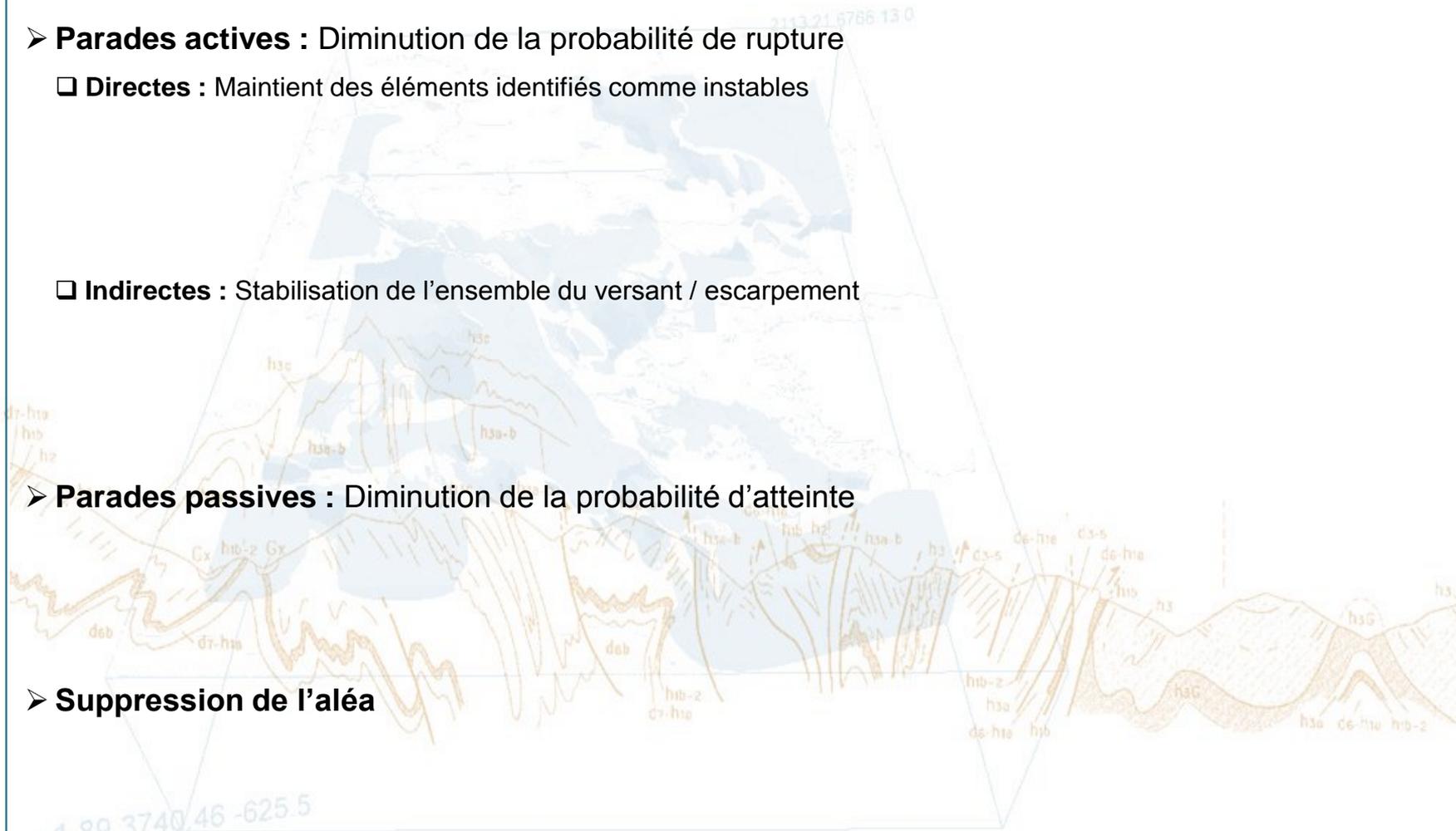
❑ **Directes** : Maintient des éléments identifiés comme instables

❑ **Indirectes** : Stabilisation de l'ensemble du versant / escarpement

➤ **Parades passives** : Diminution de la probabilité d'atteinte

➤ **Suppression de l'aléa**

➤ **Suppression de l'enjeu**



Parades



➤ **Parades actives** : Diminution de la probabilité de rupture

❑ **Directes** : Maintient des éléments identifiés comme instables

Soutènement

Grillages et filets plaqués

Ancrages

Béton projeté

❑ **Indirectes** : Stabilisation de l'ensemble du versant / escarpement

Végétalisation

Drainage de surface

Drainage profond

➤ **Parades passives** : Diminution de la probabilité d'atteinte

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans de filets déformables

Galeries de protection

Ecrans rigides

Grillages et filet pendus

Barrières fixes

Boisement

➤ **Suppression de l'aléa**

Purge

Minage

➤ **Suppression de l'enjeu**

Parades



➤ **Parades actives** : Diminution de la probabilité de rupture

❑ **Directes** : Maintient des éléments identifiés comme instables

Soutènement

Grillages et filets plaqués

Ancrages

Béton projeté

❑ **Indirectes** : Stabilisation de l'ensemble du versant / escarpement

Végétalisation

Drainage de surface

Drainage profond

➤ **Parades passives** : Diminution de la probabilité d'atteinte

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans de filets déformables

Galeries de protection

Ecrans rigides

Grillages et filet pendus

Barrières fixes

Boisement

-1.89 3740.46 -625.5

Parades



➤ Parades actives

□ Directes

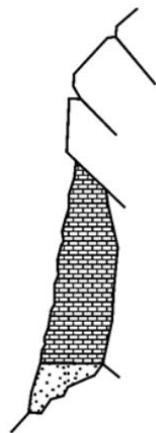
Soutènement

Ancrages

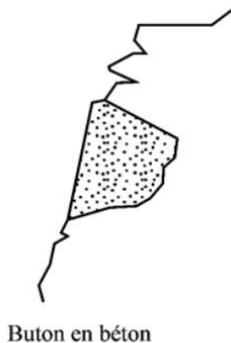
Béton projeté



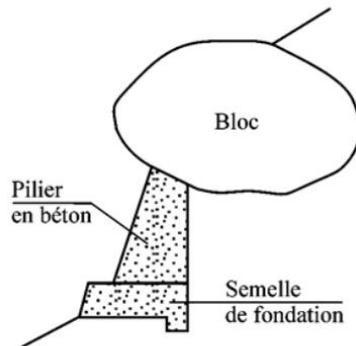
Bourg de Donnas (vallée d'Aoste)



Contrefort en maçonnerie



Buton en béton



Bloc

Pilier en béton

Semelle de fondation

➤ Coût moyen : 300 à 500 €/m³
+ ancrages + travaux préparatoires



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Parades



➤ Parades actives

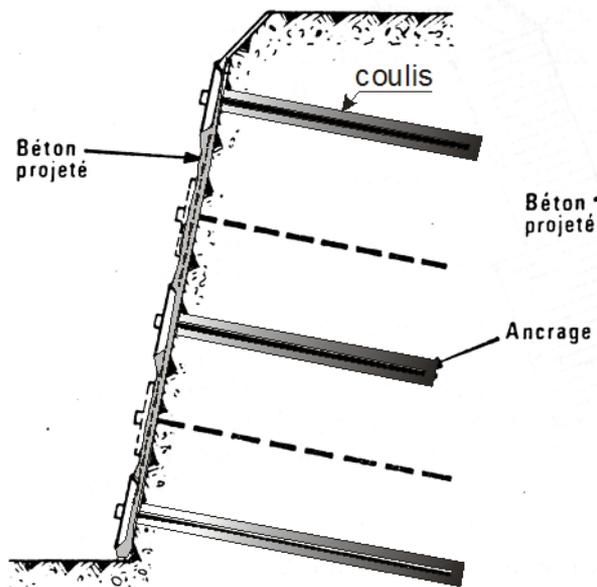
☐ Directes

Soutènement

Ancrages

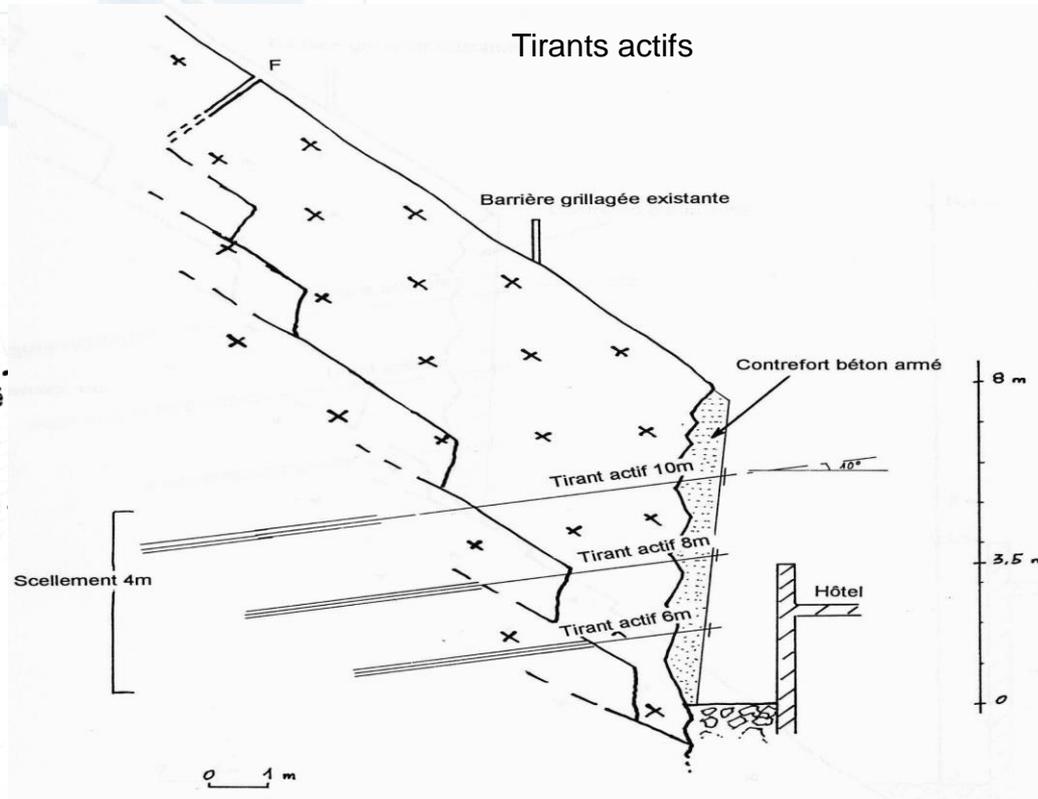
Béton projeté

Clous passifs



Grillages et filets plaqués

Tirants actifs



➤ Coût moyen :

- Passifs : 50 à 120 €/m
- Actifs : 200 à 300 €/m



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Parades



➤ Parades actives

□ Directes

Soutènement

Ancrages

Béton projeté

Grillages et filets plaqués



- Coût moyen : 500 €/m³
 - Béton : 100 à 120 €/m³
 - Fibres acier : 30 à 40 €/m³ de béton
 - Mise en œuvre : 230 à 350 €/m³

- Coût moyen :
 - Filet : 80 à 100 €/m² (+ hélitreuilage)
 - Grillage 100 x 120 mm : 5 à 10 €/m²

Parades

➤ Parades actives

□ Indirectes

Végétalisation

Drainage de surface

Drainage profond

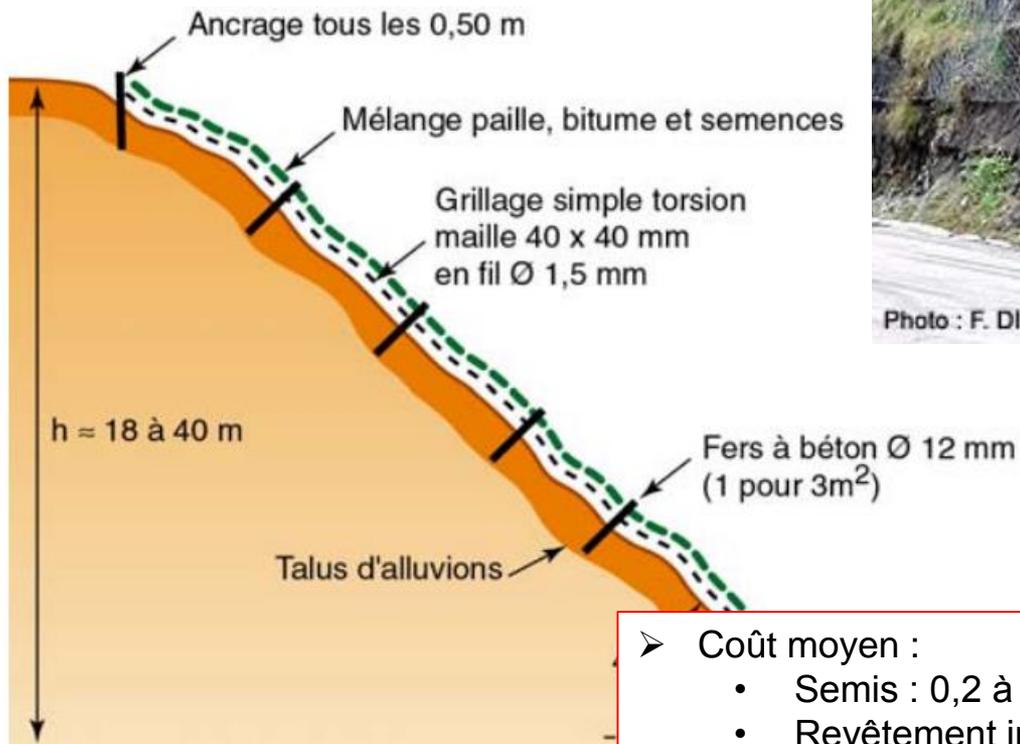
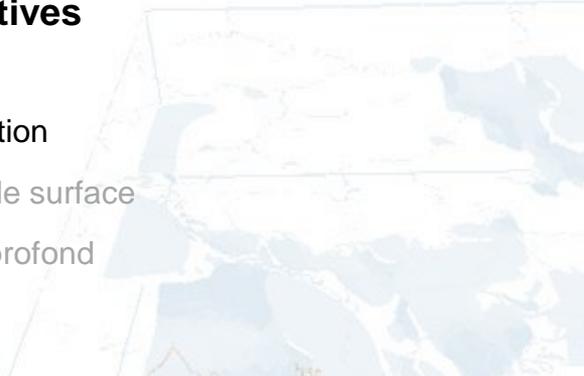


Photo : F. DINGER



➤ Coût moyen :

- Semis : 0,2 à 10 €/m²
- Revêtement intermédiaire (toile de jute/paillage) : 1 à 8 €/m²
- Banquette grillagée : 60 à 90 €/m

Parades

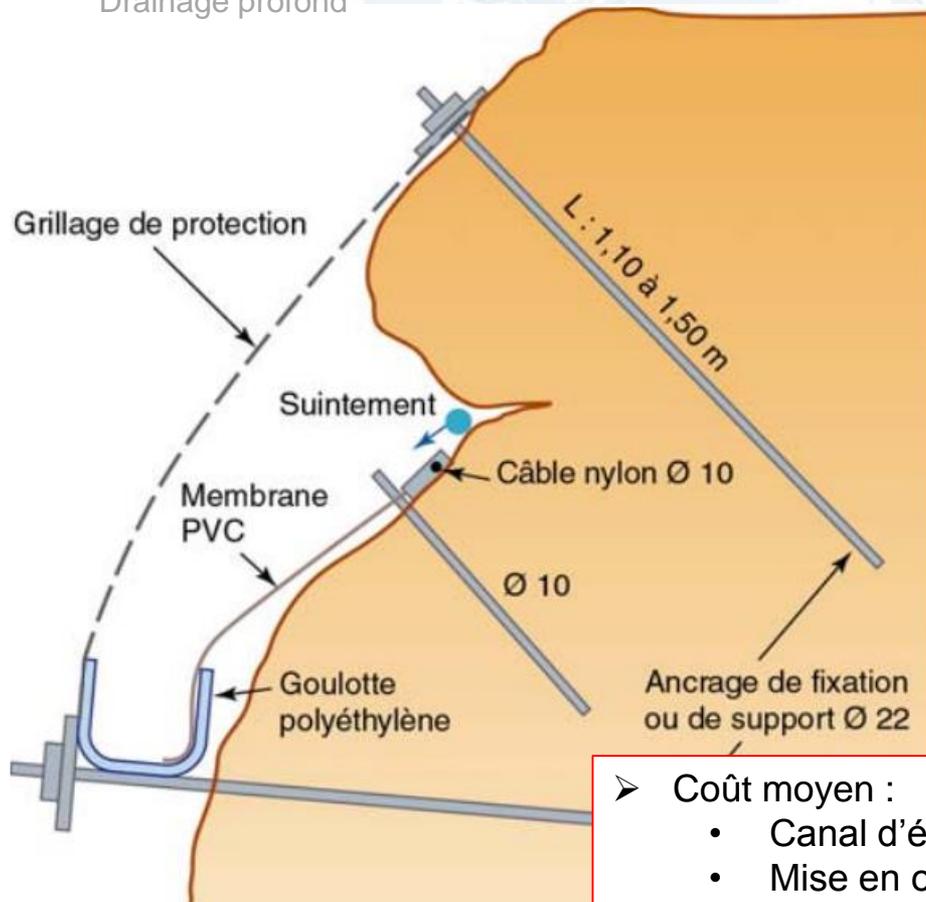
➤ Parades actives

□ Indirectes

Végétalisation

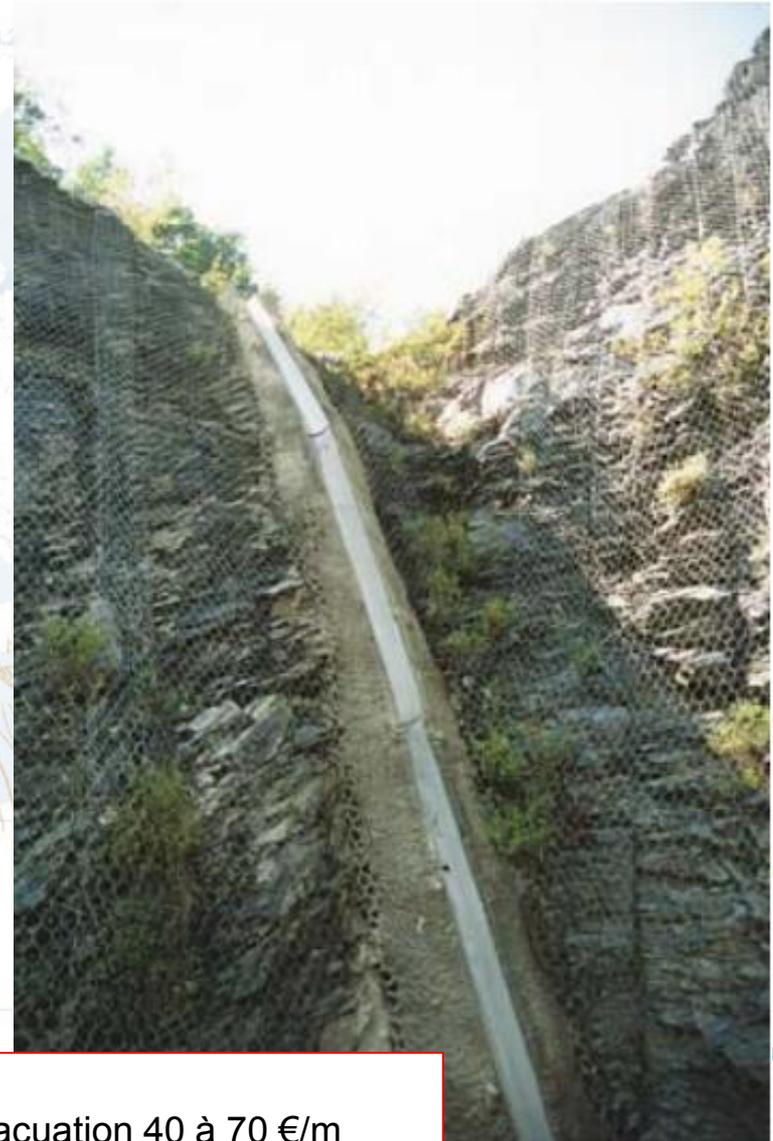
Drainage de surface

Drainage profond



➤ Coût moyen :

- Canal d'évacuation 40 à 70 €/m
- Mise en œuvre en falaise 1k à 2k €/j



Parades

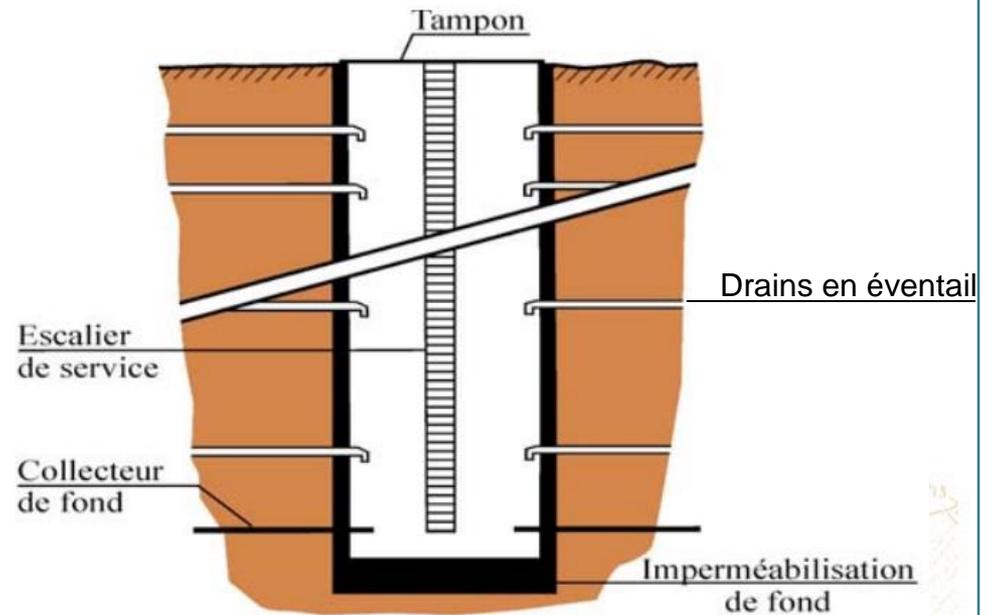
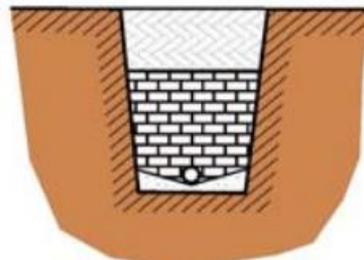
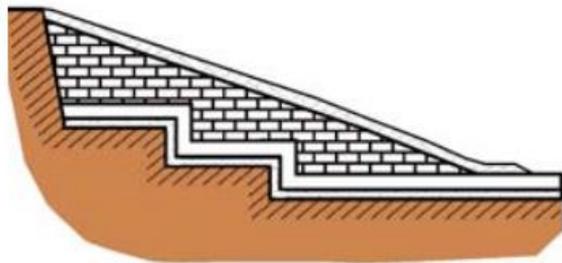
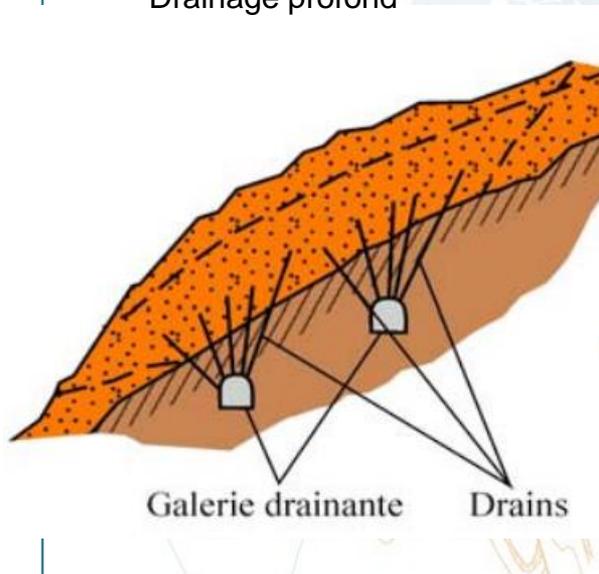
➤ Parades actives

□ Indirectes

Végétalisation

Drainage de surface

Drainage profond



➤ Coût moyen :

- Pose de drains subhorizontaux PVC :
20 à 50 €/m

Parades

➤ Parades actives

□ Indirectes

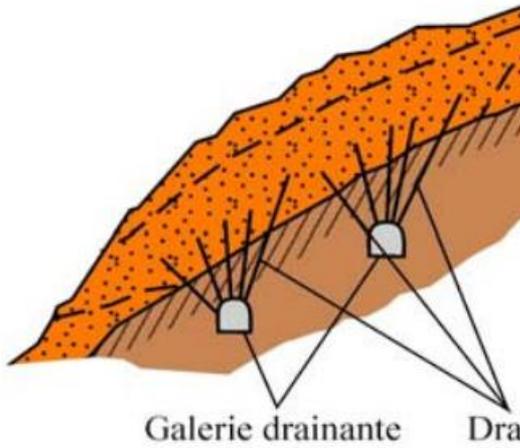
Végétalisation

Drainage de surface

Drainage profond



Belvédère de Gimillan (Cogne, vallée d'Aoste)



➤ Coût de cet ouvrage avec aménagement extérieur :
2,5M€

Parades

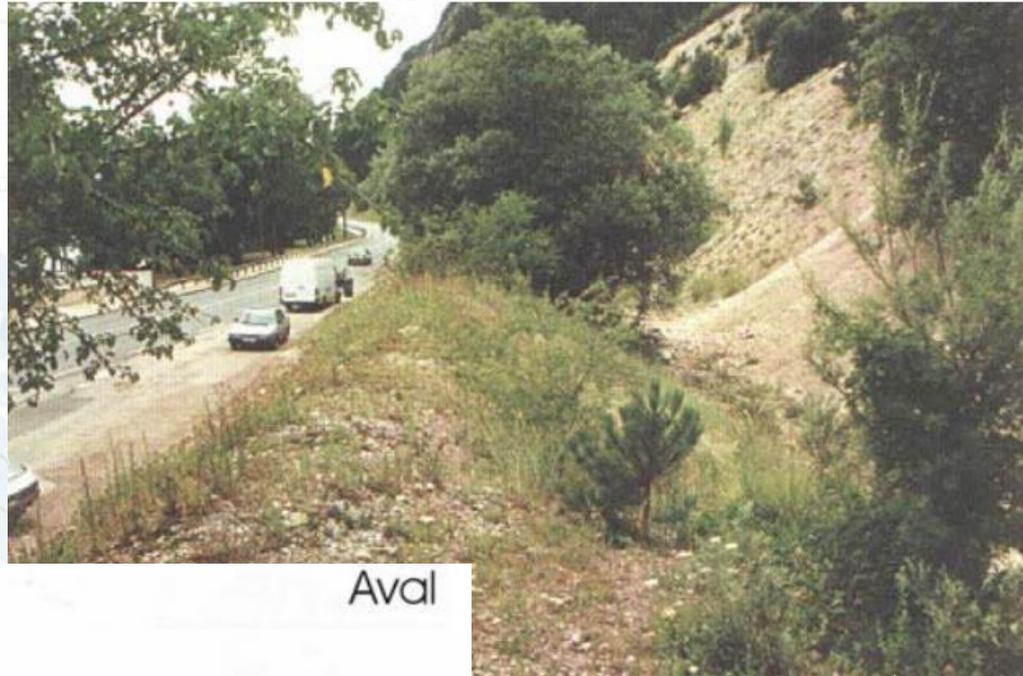


➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

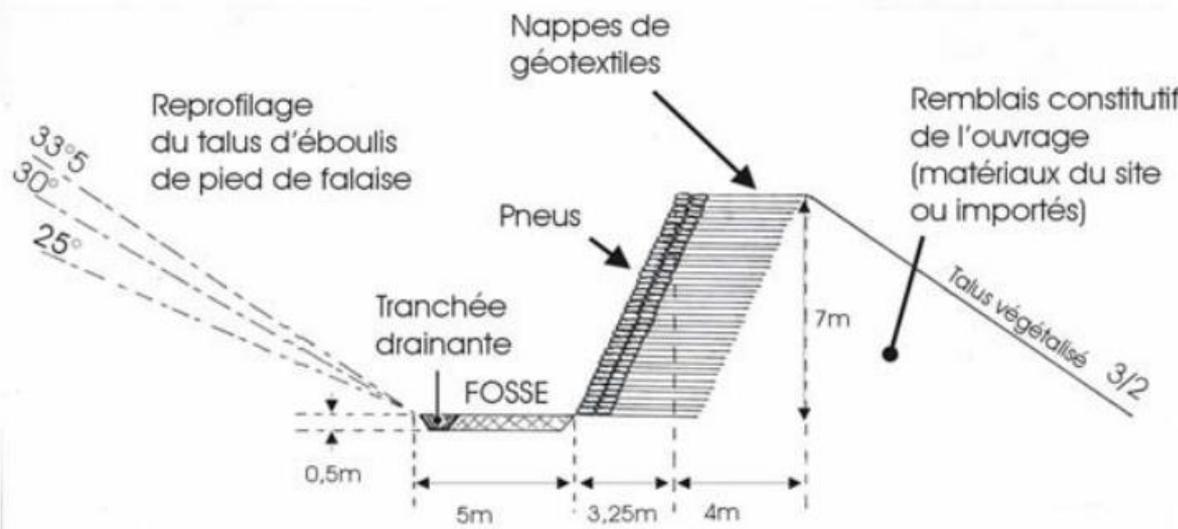
Ecrans rigides

Barrières fixes



Amont

Aval



Coût dépend :

- Des travaux de terrassement ;
- De la réutilisation des matériaux sur place ;
- De la largeur de crête de l'ouvrage ;
- De la morphologie du terrain ;
- Des travaux de drainage.

➤ Coût moyen :

- Terrassement : 10 à 50 €/m³
- Parement : 80 à 200 €/m²

Parades



➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans de fil

Ecrans rigides

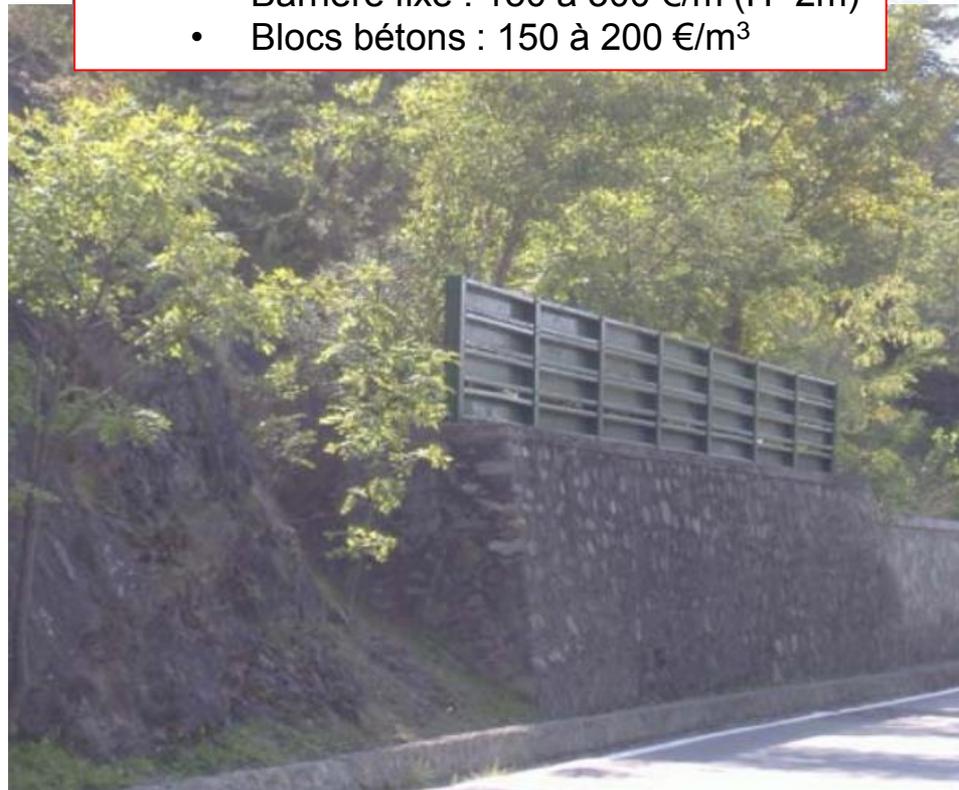
Grillages et

Barrières fixes

Boisement

➤ Coût moyen

- Gabion : 100 €/m²
- Barrière fixe : 150 à 300 €/m (H=2m)
- Blocs bétons : 150 à 200 €/m³



Parades



➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans de filets déformables

Galeries de protection

Ecrans rigides

Grillages et filet pendus

Barrières fixes

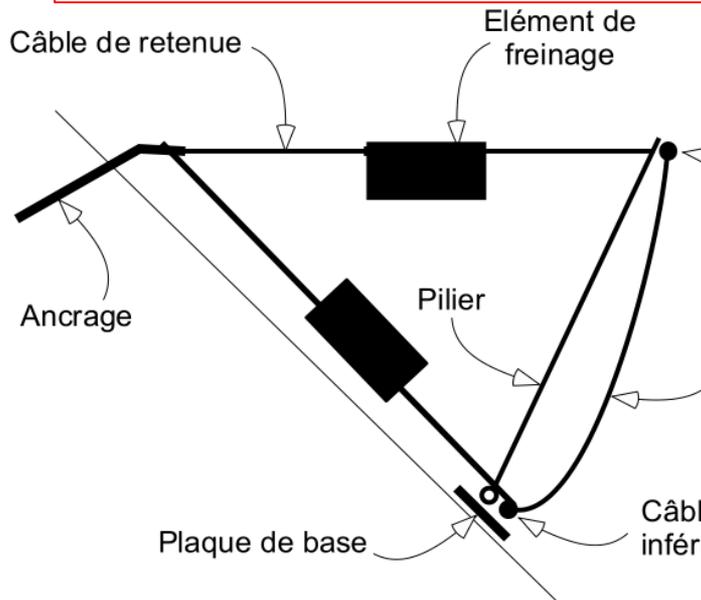
Boisement

Coût dépend:

- Capacité d'arrêt du filet.

➤ Coût moyen : 400 à 800 €/m

jusqu'à 1600 €/m pour les très haute énergie (>5000 kJ)



© Irstea

Parades



➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans de filets déformables

Galeries de protection

Ecrans rigides

Grillages et filet pendus

Barrières fixes

Boisement

Coût dépend:

- Des travaux de préparation de la falaise.

➤ Coût moyen :

- Purge 450 à 600 €/j (à 2)
- Grillage ligaturé : 10 à 15 €/m²
- Ancrages : 60 à 250 €/u
- Poteaux : 250 à 300 €/u



Parades



➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans rigides

Barrières fixes

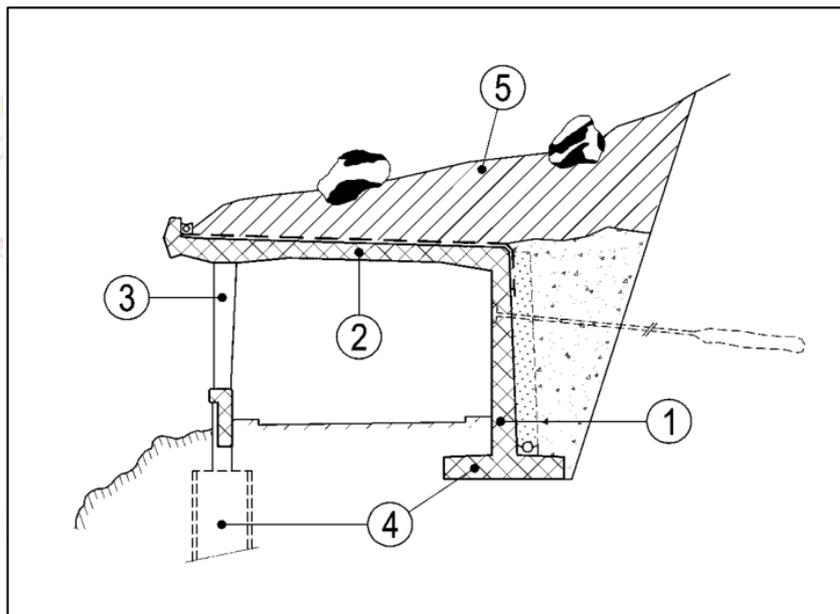
Ecrans de filets déformables

Grillages et filet pendus

Boisement

Galeries de protection

➤ Coût moyen : 12k à 16k €/m



Zone de décrochement

Trajectoires

Terrain naturel sur la trajectoire (rocher, moraine, dépôts, etc.)

Dépôt de matériaux sur la galerie

Couverture



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Parades



➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans rigides

Barrières fixes

Ecrans de filets déformables

Grillages et filet pendus

Boisement

Galeries de protection

➤ Coût moyen : 12k à 16k €/m

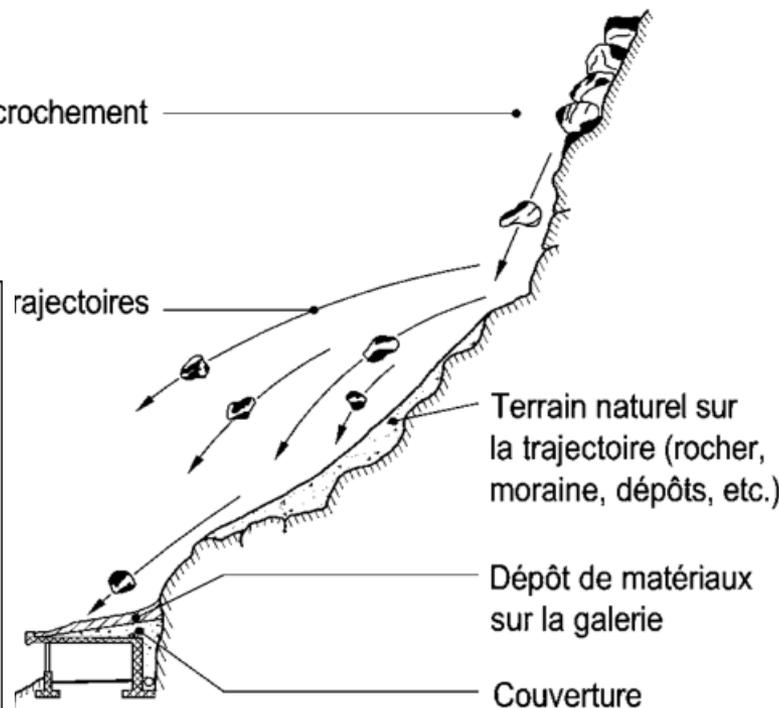
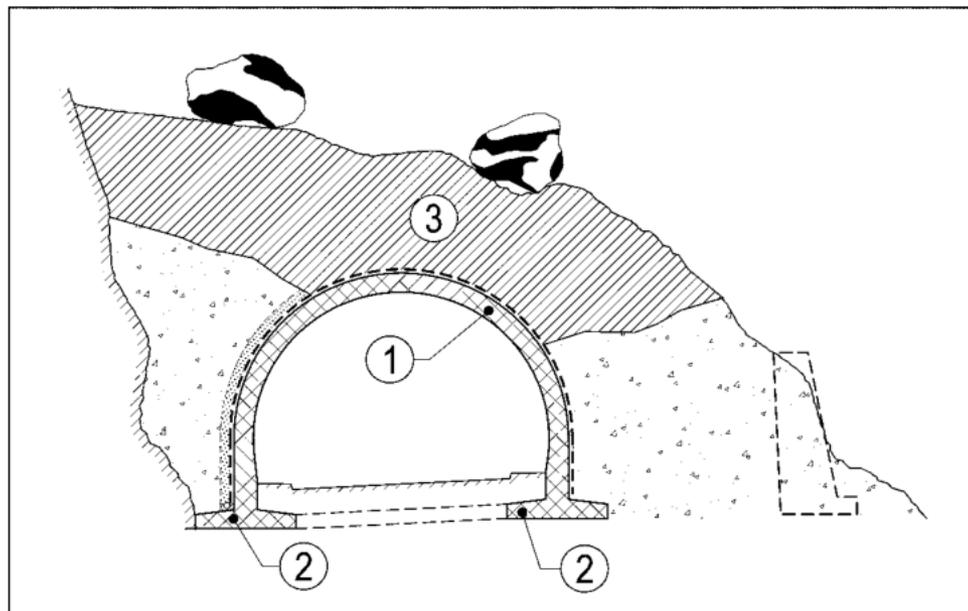
Zone de décrochement

rajectaires

Terrain naturel sur la trajectoire (rocher, moraine, dépôts, etc.)

Dépôt de matériaux sur la galerie

Couverture



Parades



➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans rigides

Barrières fixes

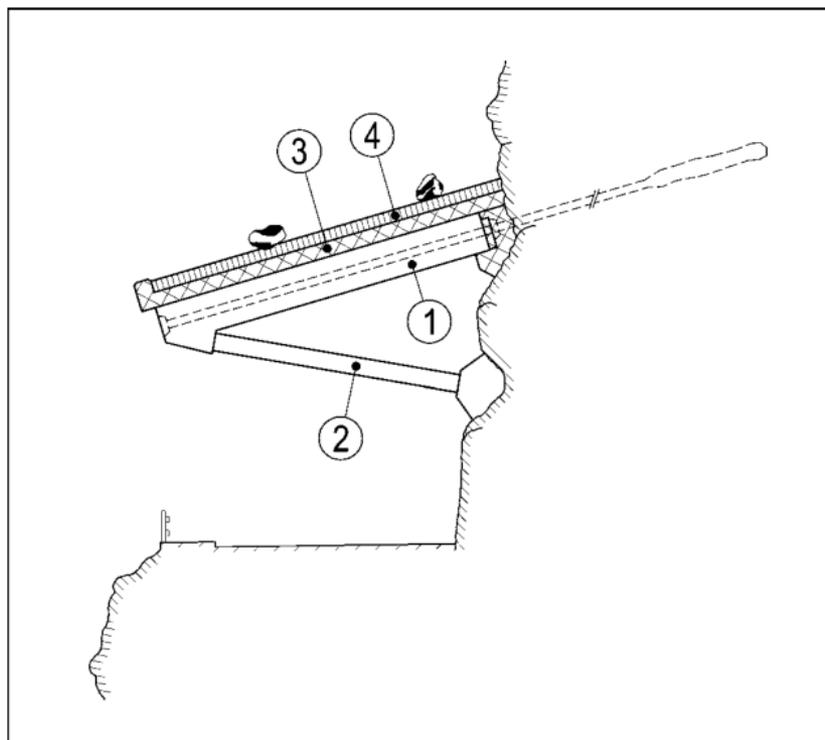
Ecrans de filets déformables

Grillages et filet pendus

Boisement

Galeries de protection

➤ Coût moyen : 12k à 16k €/m



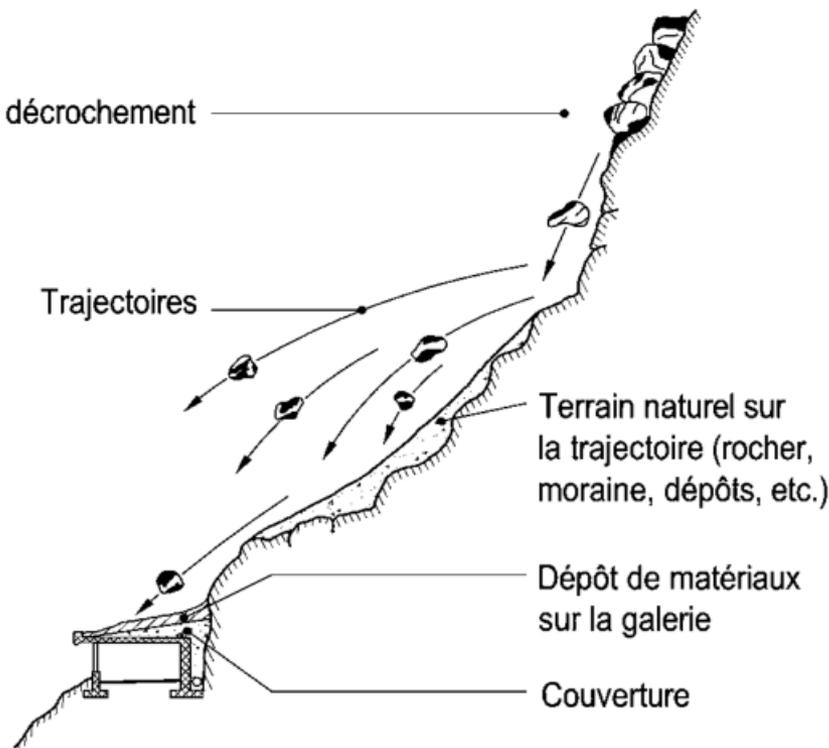
Zone de décrochement

Trajectoires

Terrain naturel sur la trajectoire (rocher, moraine, dépôts, etc.)

Dépôt de matériaux sur la galerie

Couverture



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Parades



➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans rigides

Barrières fixes

Ecrans de filets déformables

Grillages et filet pendus

Boisement

Galeries de protection

➤ Coût moyen : 12k à 16k €/m



Galerie Gondo (A9, Simplon, Suisse)



Galerie de Percelette (Pontboset, Vallée d'Aoste)

Parades



➤ Parades actives

☐ Directes

Soutènement

Ancrages

Béton projeté

Grillages et filets plaqués

☐ Indirectes

Végétalisation

Drainage de surface

Drainage profond

➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans rigides

Barrières fixes

Ecrans de filets déformables

Grillages et filet pendus

Boisement

Galeries de protection



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Parades



		Ancre actif	Ancre passif	Béton projeté	Contrefort	Purge	Couverture grillagée	Risberme	Fossé avec ou sans barrière	Ecrans sur pente
GLISSEMENT PLAN	Grande ampleur									
	Petite ampleur									
GLISSEMENT DIEDRE	Grande ampleur									
FAUCHAGE	Grande ampleur									
	Petite ampleur									
CHUTES DE PIERRES	Grande ampleur									
	Petite ampleur									

	Utilisation adaptée
	Utilisation possible selon situation
	Inadaptée

(d'après Fookes & Sweeney)



une Terre durable

Parades



Energie de trans- lation E_{trans}	Potentiel de destruction	Capacité d'absorption éner- gique d'ouvrages de retenue
De 0 à 10 kJ	Destruction de parois en éléments de bois	Rondins de sapin avec supports en acier
De 10 à 30 kJ	Destruction de parois en rondins de sapin	Bois de chêne avec supports acier Treillis métalliques à simple torsion
De 30 à 100 kJ	Destruction de parois en béton armé épais de 0.2 à 0.3 m	Filets simples en câbles d'acier
De 100 à 300 kJ	Destruction de parois en béton armé épais de 0.4 à 0.5 m	Filets perfectionnés en câbles d'acier
De 300 à 1000 kJ		Filets en anneaux d'acier avec éléments de freinage
De 1000 à 3000 kJ		Filets spéciaux en anneaux d'acier
Au-delà de 3000 kJ		Digues en sol meuble



Parades



➤ Parades actives

☐ Directes

Soutènement

Ancrages

Béton projeté

Grillages et filets plaqués

☐ Indirectes

Végétalisation

Drainage de surface

Drainage profond

➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans rigides

Barrières fixes

Ecrans de filets déformables

Grillages et filet pendus

Boisement

Galeries de protection

➤ Suppression de l'aléa

Purge

Minage

➤ Coût moyen :

- Purge ($V < 1 \text{ m}^3$) : 1 à 2 €/m³ (avec transport de déblais)
- Explosif : 8 à 15 €/Kg
- Intervention sur falaise : 450 à 600 €/j (à 2)

ciences pour une Terre durable

brgm

Parades



➤ Parades actives

☐ Directes

Soutènement

Ancrages

Béton projeté

Grillages et filets plaqués

☐ Indirectes

Végétalisation

Drainage de surface

Drainage profond

➤ Parades passives

Merlons et digues/déviateurs

Ecrans rigides

Barrières fixes

Ecrans de filets déformables

Grillages et filet pendus

Boisement

Galeries de protection

➤ Suppression de l'aléa

Purge

Minage

➤ Suppression de l'enjeu

Surveillance



Instrumentation

➤ Émissions acoustiques

Géo/Hydro-phones - Accéléromètres

➤ Extensométrie

Distancemètre
Extensomètre
Fissuromètre
Jauge de contrainte / déformation
Tassomètre
Inclinomètre

➤ Géodésie / Topographie

Théodolithe
GPS
SAR (satellites artificiels)
TSL (Laser terrestre)

➤ Interférométrie

➤ Météorologie

Anémomètre
Mesureur directionnel de vent
Nivomètre /NRC (rayonnement cosmique)
Pluviomètre
Thermo/Hygro-mètre

➤ Piézométrie

➤ Pressiométrie

➤ Radar

➤ Réflectométrie

Radar ULB / UWB-R

➤ Vidéogramétrie

➤ Photogrammétrie

Surveillance

Instrumentation

➤ Émissions acoustiques

Géo/Hydro-phones - Accéléromètres

➤ Extensométrie

Distancemètre

Extensomètre

Fissuromètre

Jauge de contrainte / déformation

Exactitude	< 0,01 $\mu\text{m/s}$
Température de fonctionnement	- 15 à + 60°C
Grandeurs d'influence	-activités anthropiques (pas), conditions environnementales (vent dans les arbres), champs magnétiques, conditions météorologiques (humidité)
Alimentation électrique	8 à 16 VCC
Fréquence propre	≥ 4 Hz pour les géophones, de 0,2 à 2 Hz pour les sismomètres à courte période et $\leq 0,05$ Hz pour les sismomètres à longue période
Fréquence de coupure supérieure	jusqu'à 10 kHz pour les géophones, jusqu'à 100 Hz pour les sismomètres à courte période, jusqu'à 40 Hz pour les sismomètres à longue période
Dynamique	≥ 120 dB



photo : Cerema/DTerCE

Accéléromètre (500 à 10k €)



Surveillance

Instrumentation

➤ Émissions acoustiques

Géo/Hydro-phones - Accéléromètres

➤ Extensométrie

Distancemètre
Extensomètre
Fissuromètre
Jauge de contrainte / déformation
Tassomètre
Inclinomètre



Crédit photo : ITMSOIL

Extensomètre (400 à 800 €)



Cerema/DTerCE

Distancemètre (10k à 15k €)

Étendue de mesure	de 400 mm à plusieurs m
Exactitude	Pour le Do1 : ± 0,16 mm Pour le Do2 : ± 0,04 mm
Température de fonctionnement	- 20 à + 80°C
Grandeur d'influence	température
Temps de réponse	< 1 s
Alimentation électrique	Pont de mesures 12 V

Étendue de mesure	< 450 mm
Exactitude	de 0,1 à 0,01 mm
Température de fonctionnement	- 20 à + 80°C
Grandeur d'influence	température
Temps de réponse	< 1 s
Alimentation électrique	Batterie 12 à 24 V

Surveillance

Instrumentation

➤ Émissions acoustiques

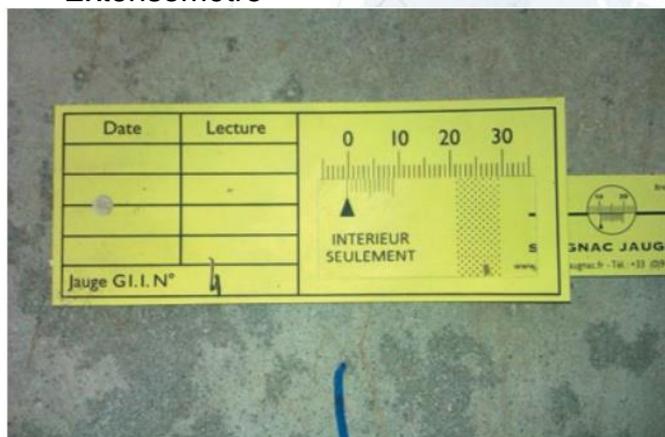
Géo/Hydro-phones - Accéléromètres

➤ Extensométrie

Distancemètre
Extensomètre



Crédit photo : Cerema/DTerSO **Fissuromètre (~400 €)**



Crédit photo : Cerema/DTerSO

Fissuromètre (<100 €)

Étendue de mesure	de 0 à 17 mm en X et Y ; 10 mm en Z
Exactitude	0,1 mm
Température de fonctionnement	- 20 à + 40°C
Grandeur d'influence	température
Temps de réponse	< 1 s
Alimentation électrique	non



Étendue de mesure	200 mm
Exactitude	± 0,5 mm
Température de fonctionnement	- 20 à + 40°C
Grandeur d'influence	température
Temps de réponse	< 1 s
Alimentation électrique	non

Surveillance

Instrumentation

➤ Émissions acoustiques

Géo/Hydro-phones - Accéléromètres

➤ Extensométrie

Distancemètre
Extensomètre
Fissuromètre
Jauge de contrainte / déformation
Tassomètre
Inclinomètre

➤ Géodésie / Topographie

Théodolithe
GPS
SAR (satellites artificiels)
TSL (Laser terrestre)

➤ Interférométrie

➤ Météorologie

Anémomètre
Mesureur directionnel de vent
Nivomètre /NRC (rayonnement cosmique)
Pluviomètre
Thermo/Hygro-mètre



Crédit photo : Cerema/DTerCE

Tachéomètre (15k à 35k €)

Étendue de mesure	> 1 mm de déplacement lorsque la distance station de mesure-cible est comprise entre 2 m et 1 800 m
Exactitude	$\pm 1 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ par km sur la distance mesurée pour une distance de visée (distance station-cible) comprise entre 2 m et 1 800 m ; $\pm 0,00015 \text{ gr}$ sur les angles.
Température de fonctionnement	- 20 à + 50°C
Grandeur d'influence	réfraction et conditions atmosphériques
Temps de réponse	temps réel ou différé
Alimentation électrique	Batterie 12 V ou secteur

Surveillance

Instrumentation



GNSS (5k à 25k €)



Crédit photo : Cerema/DTerCE et matériel INERIS

Étendue de mesure	mouvement décelable à partir de 5 mm. Distance entre points mesurés : de quelques mètres à plusieurs kilomètres.
Exactitude	± 5 mm suivant X,Y ; ± 10mm suivant Z
Température de fonctionnement	- 40 à + 65°C
Grandeur d'influence	perturbations ionosphériques, multi trajets, masques
Temps de réponse	temps réel ou différé
Alimentation électrique	Batterie 12 V, secteur

➤ Géodésie / Topographie

- Théodolithe
- GPS
- SAR (satellites artificiels)
- TSL (Laser terrestre)

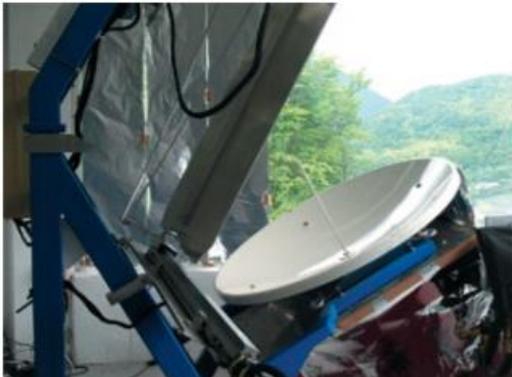
Laser terrestre (50k à 125k €)



Étendue de mesure	de 0,5 m à 2 000 m selon l'instrument choisi, le type de surface, sa réflectivité et l'angle d'incidence
Exactitude	± 3 mm à 50 mm (selon l'instrument)
Température de fonctionnement	0° à +50°C
Grandeur d'influence	réflectivité des surfaces, angle d'incidence, humidité de l'air, particules en suspension
Temps de réponse	aperçu en temps réel et post traitement en temps différé
Alimentation électrique	Batterie 12 V ou secteur

Surveillance

Instrumentation



Crédit photo : Cerema/DTerCE

Figure DD10.2
Une cible visée par le RADAR ULB sur le site de Séchilienne, Isère



Crédit photo : Cerema/DTerCE

Anémomètre
Mesureur directionnel de vent
Nivomètre /NRC (rayonnement cosmique)
Pluviomètre
Thermo/Hygro-mètre

- Piézométrie
- Pressiométrie
- Radar
- Réflectométrie

Radar ULB / UWB-R

Étendue de mesure	de 0 à 6 km
Exactitude	± 0,2 mm à 1 200 m
Température de fonctionnement	- 10 à + 40°C
Grandeur d'influence	air, température, neige
Temps de réponse	< 5 s
Alimentation électrique	220 V AC pour une utilisation sous 24 V en CC

Radar Ultra Large Bande (80k à 150k €)

Surveillance

Instrumentation



Anémomètre (100 à 500 €)

Étendue de mesure	de 1 à 60 m/s pour une précision maximale ; résiste à des bourrasques de 100 m/s
Exactitude	$\pm 0,3$ m/s de 1 à 60 m/s et $\pm 1,0$ m/s de 60 à 100 m/s
Température de fonctionnement	- 50 à + 70°C
Grandeur d'influence	aucune
Temps de réponse	immédiat
Alimentation électrique	aucune, tension induite par rotation du moulinet



Crédit photo : Météo France **Pluviomètre (~2k €)**

Étendue de mesure	de 0 à plusieurs centaines de mm/h
Exactitude	± 4 %
Température de fonctionnement	-20°C à +60°C
Grandeur d'influence	vent et température
Temps de réponse	quelques ms
Alimentation électrique	batterie ou secteur

➤ **Météorologie**

- Anémomètre
- Mesureur directionnel de vent
- Nivomètre /NRC (rayonnement cosmique)
- Pluviomètre
- Thermo/Hygro-mètre

Surveillance

Instrumentation

➤ Émissions acoustiques

Géo/Hydro-phones - Accéléromètres

➤ Extensométrie

➤ Piézométrie

➤ Pressiométrie

➤ Radar

➤ Réflectométrie

Radar ULB / UWB-R

➤ Vidéogramétrie



Pluviomètre
Thermo/Hygro-mètre

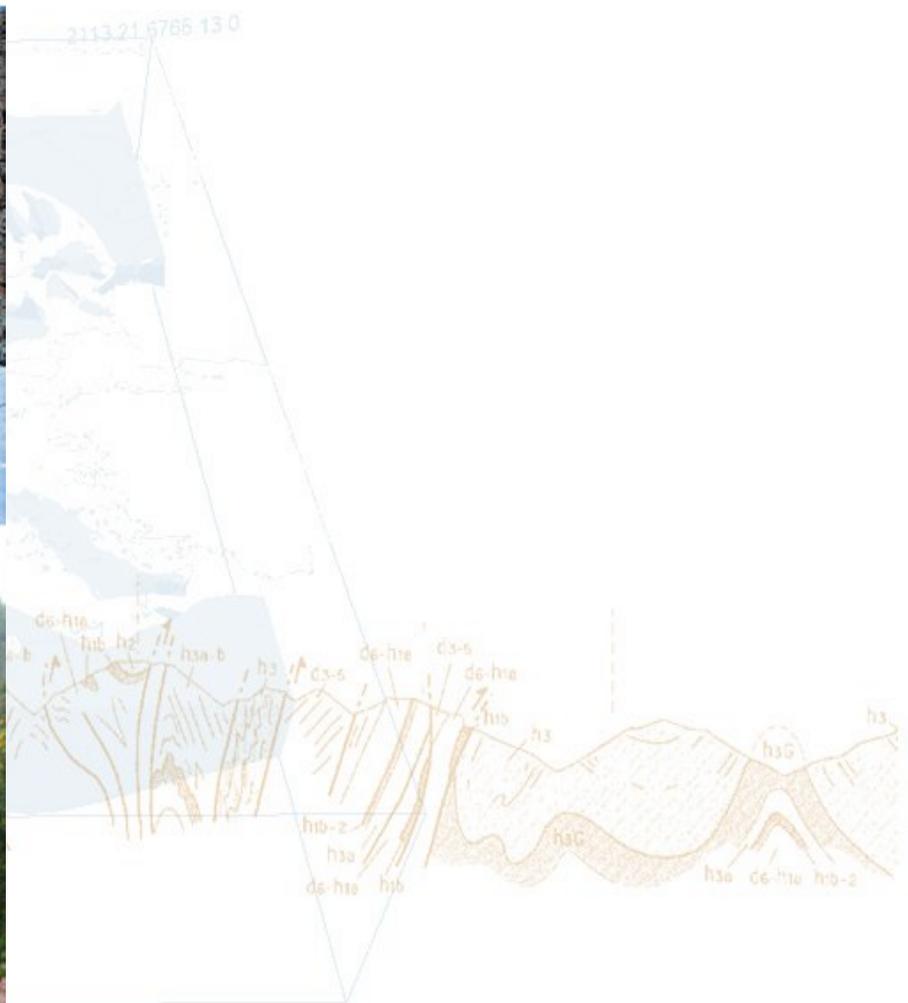


Surveillance du Mont de la Saxe (Italie)

Géosciences pour une Terre durable



Télésurveillance



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Surveillance du glacier de Tête Rousse (Mt Blanc)

Télésurveillance



Surveillance d'un glissement de terrain à Fort-de-France (Martinique)



Surveillance du glacier de Tête Rousse (Mt Blanc)



Télésurveillance



Alertes

- **Technique** : concerne l'état et le fonctionnement des dispositifs
- **Opérationnelle** : correspond à un dépassement de seuil préalablement fixé



Télésurveillance



Alertes

- **Technique** : concerne l'état et le fonctionnement des dispositifs
- **Opérationnelle** : correspond à un dépassement de seuil préalablement fixé

Niveaux d'alerte

Information

niveau de diagnostic

information sur l'état de fonctionnement du réseau de surveillance (acquisition, transmission, stockage des mesures)

Pré-alerte

niveau de vigilance renforcée

- surveillance resserrée
- évaluation de la situation par experts 'métier'
- activation de la cellule de crise
- Permanence de suivi jusqu'à retour à la normale

Alerte

niveau d'action

- mobilisation de la chaîne d'intervention
- mobilisation de la cellule de crise
- Plans d'intervention et mesures de protection
 - évacuation des populations menacées
 - fermeture des voies de communications menacées
 - minage
 - etc.

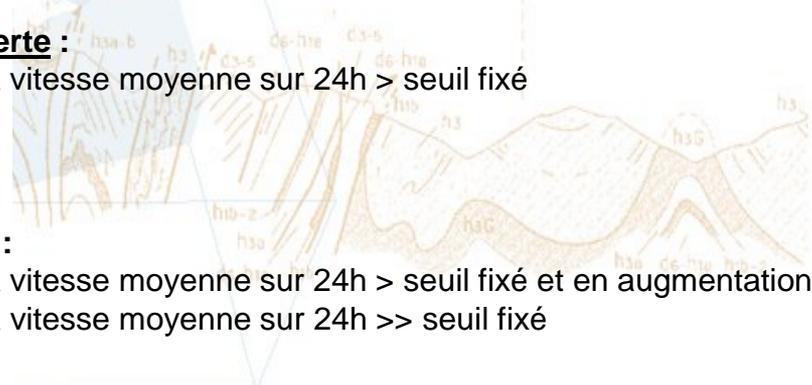
Exemple de règles de changement d'alertes:

Pré-alerte :

- Si la vitesse moyenne sur 24h > seuil fixé

Alerte :

- Si la vitesse moyenne sur 24h > seuil fixé et en augmentation
- Si la vitesse moyenne sur 24h >> seuil fixé





Merci de votre attention

	Parades passives (une fois le phénomène déclenché)	Coûts (à titre indicatif et pouvant varier en fonction de l'entreprise en charge des travaux)
Merlon		Levée de terre 10 à 50 €/ m³
		Si parement amont PneuSol : 80 à 200 €/ m²
écran à structure rigide	échelle de perroquet	
	blocs bétons liaisonnés empilés	150 à 200 €/ m³ mis en place
	gabions	100 à 150 €/ m³ mis en place
	palplanches	
barrière fixe (ou écran statique) de grillage ou de filet	grillage double nappe, double torsion	150 à 300€ / ml (pour une barrière de 2 m de haut)
	grillage simple nappe, double torsion	
	filet en câble métallique	
	filets métalliques type ASM	
écran déformable (dynamique) de filet	filets en câble métallique	400 à 550 €/ ml pour une capacité < 1000 kJ ; 600 à 800 €/ ml pour une capacité de 1500 kJ ; prévoir en plus un coût de contrôle des ancrages de 150 à 300 €/ u
	filets métalliques type ASM	
grillage ou filet pendu	grillage simple simple oudouble torsion	Préparation :
		Purge : 450 à 600 € par jour ; débroussaillage : 3 €/ m²
	filets métalliques type ASM	grillage posé ligaturé avec câble : 10 à 15 €/ m²
		Ancrages de suspension
		Au rocher : 60 €/ m
		Pour pieux explosé : 250 €/ u
Fosse de réception		Terrassement en terrain meuble : 8 €/ m³ ; Terrassement au rocher : 15 à 40 €/ m³ ; prévoir les couts d'entretien (curage...)
Déviateur latéral	tourne	Terrassement : 8 €/ m³
	étrave	Ouvrage PneuSol : 100 à 200 €/ m² de parement
Dispositif amortisseur		
boisement		
	Parades actives (s'oppose à la manifestation du phénomène)	Coûts (à titre indicatif et pouvant varier en fonction de l'entreprise en charge des travaux)
Purge	purges douces (manuelles)	450 à 600€ par jour + débroussaillage à 3 €/m² + location éventuelle d'une nacelle
	purges à l'explosif (exceptionnelle)	
		Minage : 15 à 80€/ m³
Reprofilage et abattage		Terrassement rocheux : 8 à 40€/ m³
soutènement	contrefort	Béton : 300 à 450€/ m³ (prévoir plus si intervention par hélicoptère)
	buton en béton	Prévoir pour les ancrages
	buton métallique	Prévoir pour les travaux préparatoires
	pilier	
Ancrage	passif (barre scellée sur toute la longueur dans le trou de forage, plaque d'appui et écrou de serrage à l'extrémité libre	50 à 120€/ ml
	actif (barres ou câbles scellés en fond de trou, mise en tension, réglage de la surface d'appui	250 à 300€/ ml
		Prévoir budget pour les essais de convenance et pour les essais de contrôle
Béton projeté		ciment + granulats : 100 à 120€/ m³
		fibres d'acier : 2€/ kg (30 à 40 kg / m³ de béton)
		mise en œuvre : 230 à 250 /m³
Filets et grillages plaqués		Filet ASM plaqué : 80 à 100€/ m² + installation de chantier + hélico
		grillage 100 x 120 mm : 5 à 10€/ m²
		grillage plaqué sur éboulis : 5 à 15€/ m²
végétalisation		Semis simple : 0,2€/ m²
		Semis paillage : 0,5€/ m²
		Semis simple + toile de jute : 2,5€/ m²
		Semis hydraulique : 1€/ m²
		Paille -bitume : 1 €/ m²
		Grillage et semis : 5 à 15 €/ m²

	Parades passives (une fois le phénomène déclenché)	Coûts (à titre indicatif et pouvant varier en fonction de l'entreprise en charge des travaux)
Merlon		Levée de terre 10 à 50 €/ m³
		Si parement amont PneuSol : 80 à 200 €/ m²
écran à structure rigide	échelle de perroquet	
	blocs bétons liaisonnés empilés	150 à 200 €/ m³ mis en place
	gabions	100 à 150 €/ m³ mis en place
	palplanches	
barrière fixe (ou écran statique) de grillage ou de filet	grillage double nappe, double torsion	150 à 300€ / ml (pour une barrière de 2 m de haut)
	grillage simple nappe, double torsion	
	filet en câble métallique	
	filets métalliques type ASM	
écran déformable (dynamique) de filet	filets en câble métallique	400 à 550 €/ ml pour une capacité < 1000 kJ ; 600 à 800 €/ ml pour une capacité de 1500 kJ ; prévoir en plus un coût de contrôle des ancrages de 150 à 300 €/ u
	filets métalliques type ASM	
grillage ou filet pendu	grillage simple simple oudouble torsion	Préparation :
		Purge : 450 à 600 € par jour ; débroussaillage : 3 €/ m²
	filets métalliques type ASM	grillage posé ligaturé avec câble : 10 à 15 €/ m²
		Ancrages de suspension
		Au rocher : 60 €/ m
		Pour pieux explosé : 250 €/ u
Fosse de réception		Terrassement en terrain meuble : 8 €/ m³ ; Terrassement au rocher : 15 à 40 €/ m³ ; prévoir les couts d'entretien (curage...)
Déviateur latéral	tourne	Terrassement : 8 €/ m³
	étrave	Ouvrage PneuSol : 100 à 200 €/ m² de parement
Dispositif amortisseur		
boisement		
	Parades actives (s'oppose à la manifestation du phénomène)	Coûts (à titre indicatif et pouvant varier en fonction de l'entreprise en charge des travaux)
Purge	purges douces (manuelles)	450 à 600€ par jour + débroussaillage à 3 €/m² + location éventuelle d'une nacelle
	purges à l'explosif (exceptionnelle)	
		Minage : 15 à 80€/ m³
Reprofilage et abattage		Terrassement rocheux : 8 à 40€/ m³
soutènement	contrefort	Béton : 300 à 450€/ m³ (prévoir plus si intervention par hélicoptère)
	buton en béton	Prévoir pour les ancrages
	buton métallique	Prévoir pour les travaux préparatoires
	pilier	
Ancrage	passif (barre scellée sur toute la longueur dans le trou de forage, plaque d'appui et écrou de serrage à l'extrémité libre	50 à 120€/ ml
	actif (barres ou câbles scellés en fond de trou, mise en tension, réglage de la surface d'appui	250 à 300€/ ml
		Prévoir budget pour les essais de convenance et pour les essais de contrôle
Béton projeté		ciment + granulats : 100 à 120€/ m³
		fibres d'acier : 2€/ kg (30 à 40 kg / m³ de béton)
		mise en œuvre : 230 à 250 /m³
Filets et grillages plaqués		Filet ASM plaqué : 80 à 100€/ m² + installation de chantier + hélico
		grillage 100 x 120 mm : 5 à 10€/ m²
		grillage plaqué sur éboulis : 5 à 15€/ m²
végétalisation		Semis simple : 0,2€/ m²
		Semis paillage : 0,5€/ m²
		Semis simple + toile de jute : 2,5€/ m²
		Semis hydraulique : 1€/ m²
		Paille -bitume : 1 €/ m²
		Grillage et semis : 5 à 15 €/ m²