


ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE



Méthodologie de zonage de l'aléa rocheux pour l'aménagement du territoire

V. Labiouse, J. Abbruzzese



LABORATOIRE DE
MÉCANIQUE DES ROCHES

CFMR Paris, 18/10/2012

Méthodologie de zonage de l'aléa rocheux pour l'aménagement du territoire

EPFL - LMR



- Introduction
 - Contexte - définitions - incertitudes
 - Méthodologies existantes
- Méthodologie Cadanav
 - Facteurs influençant l'aléa rocheux
 - Procédure de zonage
- Applications
 - Profil 2D
 - Topographie 3D
 - Combinaison de sources
- Conclusions

Méthodologie de zonage de l'aléa rocheux pour l'aménagement du territoire

EPFL - LMR



- Introduction
 - Contexte - définitions - incertitudes
 - Méthodologies existantes
- Méthodologie Cadanav
 - Facteurs influençant l'aléa rocheux
 - Procédure de zonage
- Applications
 - Profil 2D
 - Topographie 3D
 - Combinaison de sources
- Conclusions

$$\text{Risque} = \text{P[rupture]} \times \text{P[atteinte]} \times \text{Valeur} \times \text{Vulnérabilité}$$

EPFL - LMR

1. Source

- Probabilité ou fréquence moyenne de départ de blocs

2. Propagation

- Probabilité qu'un bloc atteigne un point du versant avec une certaine énergie

3. Enjeux et leur vulnérabilité

- Personnes et biens
- Etendue des dommages directs et indirects



Risque = P[rupture] x P[atteinte] x Valeur x Vulnérabilité

EPFL - LMR

Modes d'action pour limiter le risque :

- 1. Éviter le secteur à risque**
 - *Aménagement du territoire* pour les collectivités
 - Modification de tracé pour les axes de communication
- 2. Intervenir à la source**
 - Action au niveau des masses rocheuses instables au moyen de parades actives
- 3. Maîtriser les conséquences**
 - Action *sur la propagation* ou *au droit de l'enjeu*, au moyen de parades passives

Définition du terme « aléa » (Hazard)
(International Strategy of Disaster Reduction)

EPFL - LMR

Aléa : Une condition qui peut avoir des conséquences négatives pour la vie, les propriétés et/ou les activités humaines. La description d'un aléa doit comprendre sa localisation, son intensité ainsi que sa réurrence.

Ingénierie :

Probabilité qu'un phénomène dangereux d'une certaine intensité survienne en un endroit donné au cours d'une certaine période de temps

ou

Fréquence moyenne d'occurrence d'un phénomène dangereux d'une certaine intensité en un endroit donné

Aléa

=

Fréquence d'occurrence

+

Intensité
(énergie cinétique)

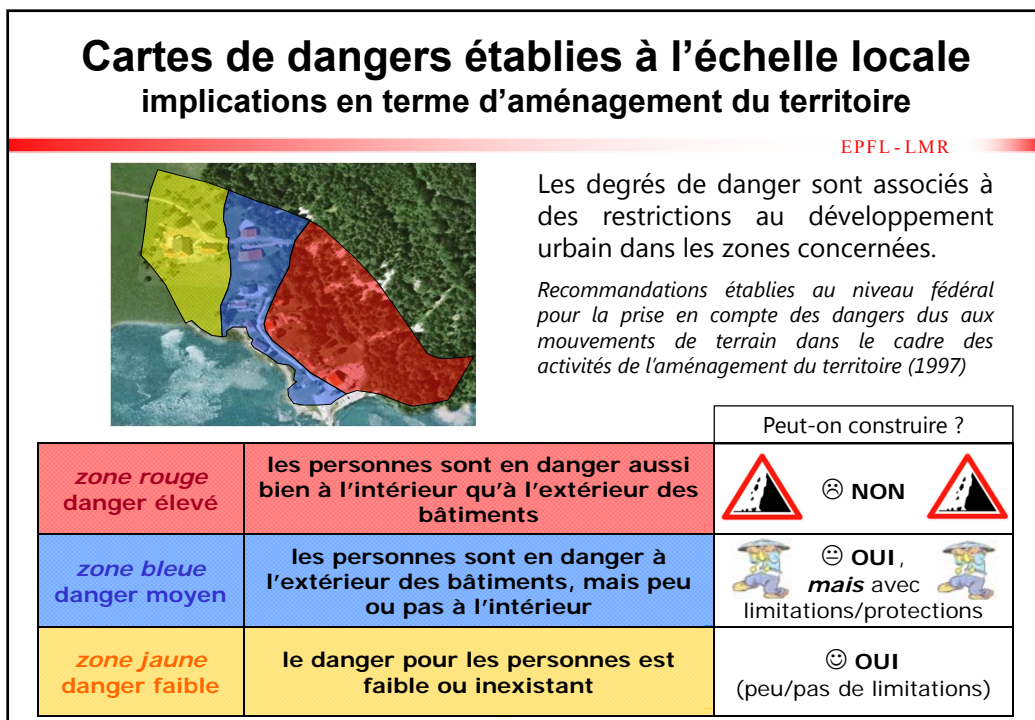
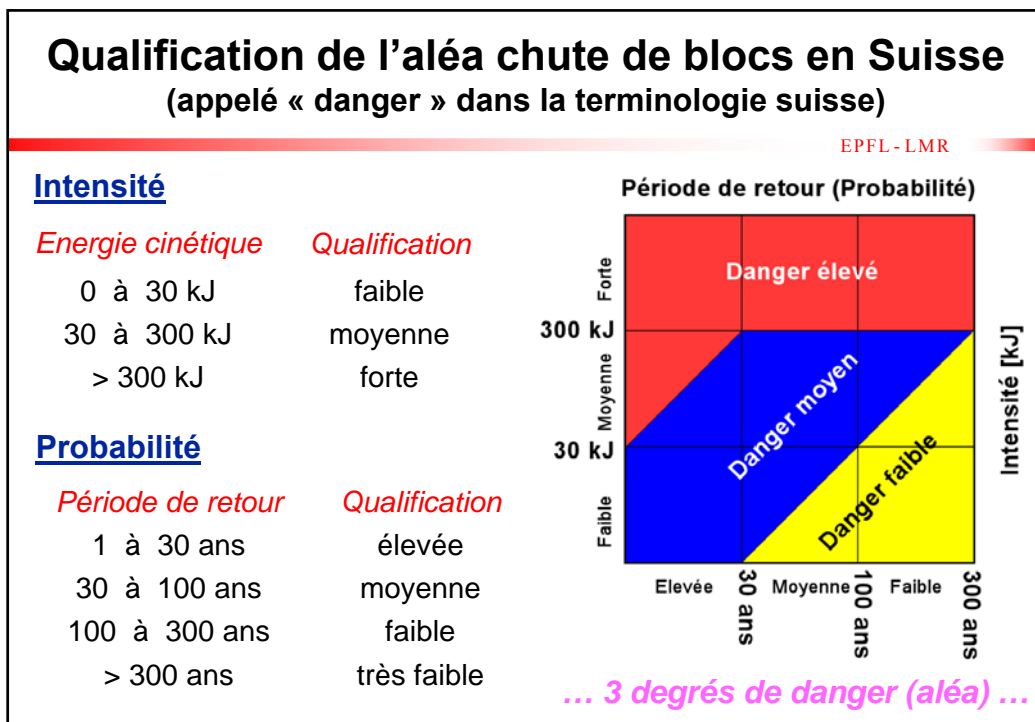
↗

↘

Fréquence de rupture
(période de retour)

X

Probabilité d'atteinte avec
une certaine intensité



Diverses procédures de zonage pour l'aménagement du territoire

Rockfall hazard zoning for land use planning. V. Labiouse, J. Abbruzzese. Chapitre 7 du livre : Rockfall Engineering (2011)

EPFL - LMR

Méthodologie de zonage	Zone de départ			Propagation							Aménagement du territoire		
	Type de données source	Volume	Période de retour	Méthode	2D/3D	Runout max.	Probab. d'atteinte	Energie	Hauteur de rebond	Stricte analyse d'aléa	Type de zonage	Echelle de zonage	Directives
Méthode des cônes	cartes, SIG			angle d'atteinte	3D	✓				-	suscept.	régionale	
IHR	SIG	✓		angle d'atteinte	3D	✓				-	suscept.	régionale	Bolzano
Copons	terrain			angle d'atteinte	2D		✓			-	suscept.	régionale	Andorra
RES	terrain	≈		pondération de facteurs	2D		≈	≈		≈	suscept. (aléa)	locale	
LPC	terrain	≈	≈	pondération de facteurs	2D		≈			≈	suscept. (aléa)	locale	
R ³ S ²	terrain	≈	≈	pond. facteurs angle d'atteinte	2D	✓				≈	suscept. (aléa)	locale	
Intensité – fréquence	données hist. SIG	✓	✓	pondération de facteurs	3D	✓				≈	suscept. (aléa)	régionale / locale	
Matterock	terrain	✓	≈	trajectoire	2D		✓	✓		✓	aléa	locale	Suisse
Cadanav	terrain	✓	✓	trajectoire	2D		✓	✓		✓	aléa	locale	Suisse
Eurobloc	terrain	✓	≈	trajectoire	3D		✓	✓		✓	aléa	locale	Andorra
ADRGT	terrain	✓		trajectoire	2D		✓			-	suscept.	locale	France
RHAP	terrain	✓	≈	trajectoire	2D		✓			-	suscept.	locale	Lombardie
RHV	terrain SIG	✓		trajectoire	3D		✓	✓	✓	≈	suscept. (aléa)	local / régionale	
Rockfall Analyst	terrain SIG	✓		trajectoire	3D		✓	✓	✓	≈	suscept. (aléa)	locale	

Méthodes de zonage à partir d'études trajectographiques

EPFL - LMR

Zone de départ

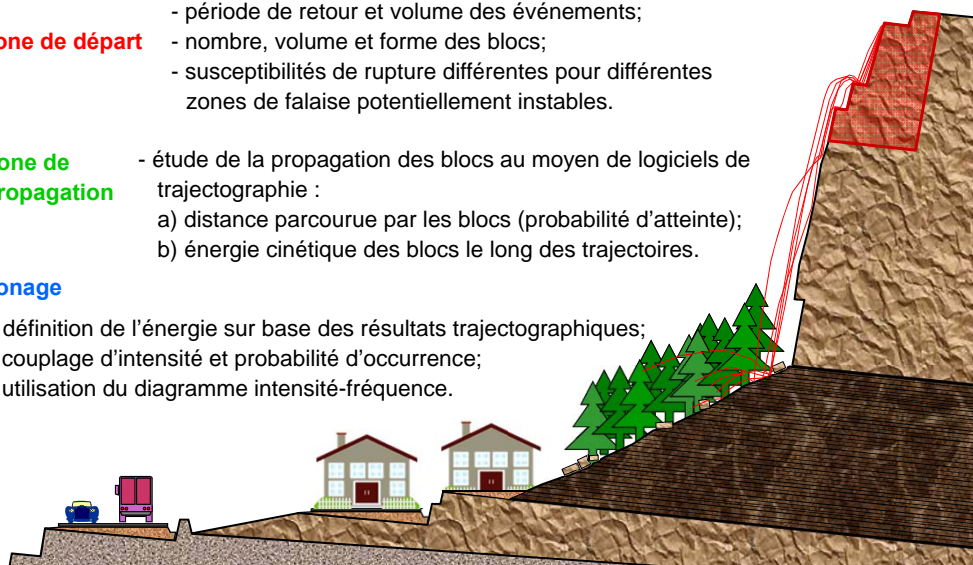
- période de retour et volume des événements;
- nombre, volume et forme des blocs;
- susceptibilités de rupture différentes pour différentes zones de falaise potentiellement instables.

Zone de propagation

- étude de la propagation des blocs au moyen de logiciels de trajectographie :
 - a) distance parcourue par les blocs (probabilité d'atteinte);
 - b) énergie cinétique des blocs le long des trajectoires.

Zonage

- définition de l'énergie sur base des résultats trajectographiques;
- couplage d'intensité et probabilité d'occurrence;
- utilisation du diagramme intensité-fréquence.



Méthodes de zonage : difficultés et incertitudes

Zone de départ

- subjectivité associée à des estimations qualitatives;
- manque de données pour une estimation quantitative (par exemple: cadastre des événements);
- fréquence pas prise en compte par certaines méthodes.

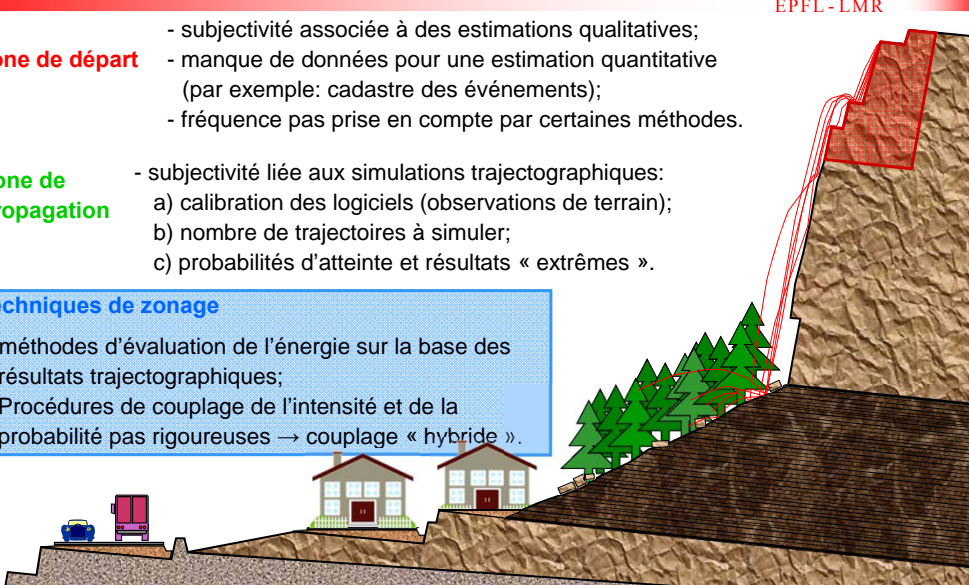
Zone de propagation

- subjectivité liée aux simulations trajectographiques:
 - a) calibration des logiciels (observations de terrain);
 - b) nombre de trajectoires à simuler;
 - c) probabilités d'atteinte et résultats « extrêmes ».

Techniques de zonage

- méthodes d'évaluation de l'énergie sur la base des résultats trajectographiques;
- Procédures de couplage de l'intensité et de la probabilité pas rigoureuses → couplage « hybride ».

EPFL - LMR



Nécessité d'une méthodologie de zonage rigoureuse

Constats


- En Suisse, malgré la prescription claire d'un diagramme intensité-fréquence pour le zonage de l'aléa rocheux, les procédures de zonage sont extrêmement diverses.
- Les résultats du zonage peuvent être très variables et sont entachés d'un degré élevé de subjectivité.

Objectifs

Développement d'une méthodologie de zonage de l'aléa rocheux pour l'aménagement du territoire, qui soit :

- basée sur la définition stricte de l'aléa, à savoir intégrant l'intensité du phénomène et sa probabilité d'occurrence;
- la plus rigoureuse et objective possible afin de garantir un zonage indépendant du bureau d'études (*une fois le scénario de rupture fixé et les calculs trajectographiques réalisés*);
- conforme au diagramme intensité-fréquence prescrit dans les recommandations suisses.

EPFL - LMR



Méthodologie de zonage de l'aléa rocheux pour l'aménagement du territoire

EPFL - LMR

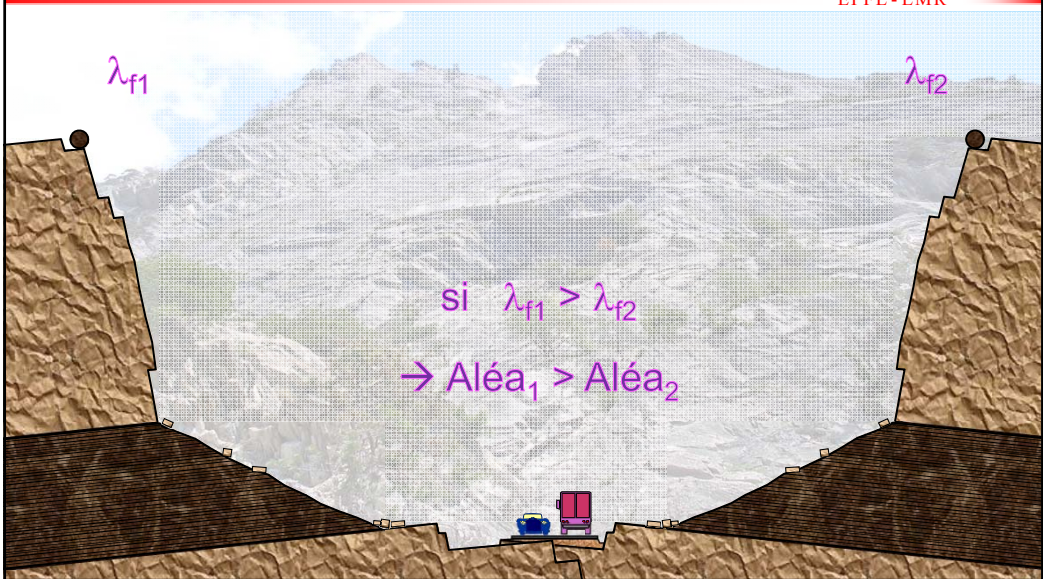


- Introduction
 - Contexte - définitions - incertitudes
 - Méthodologies existantes
- Méthodologie Cadanav
 - Facteurs influençant l'aléa rocheux
 - Procédure de zonage
- Applications
 - Profil 2D
 - Topographie 3D
 - Combinaison de sources
- Conclusions

11

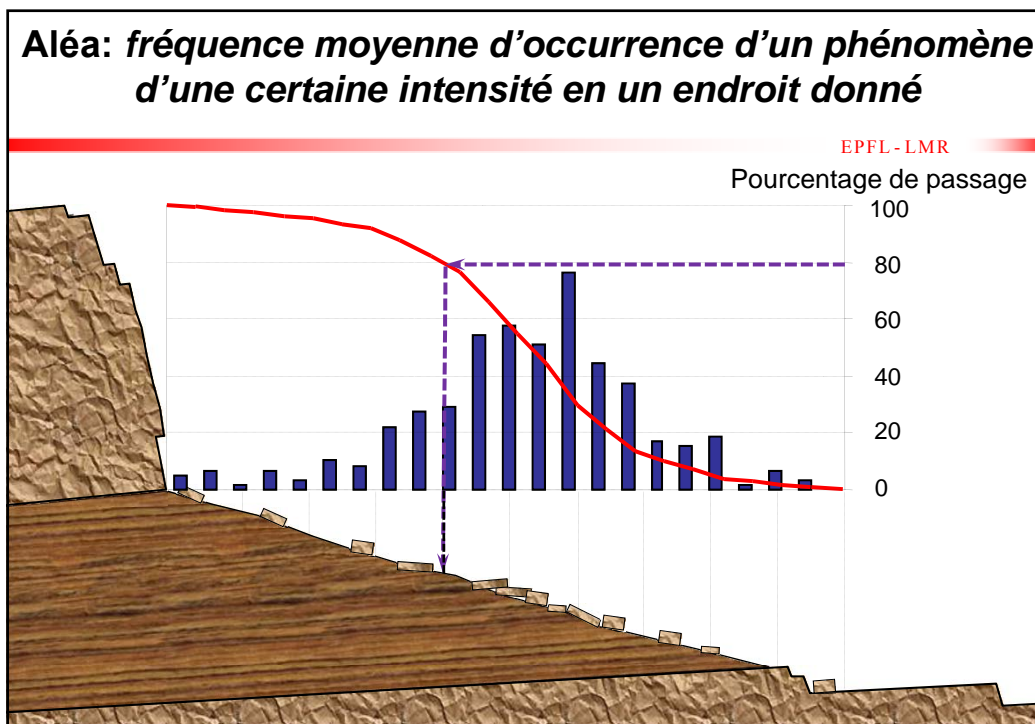
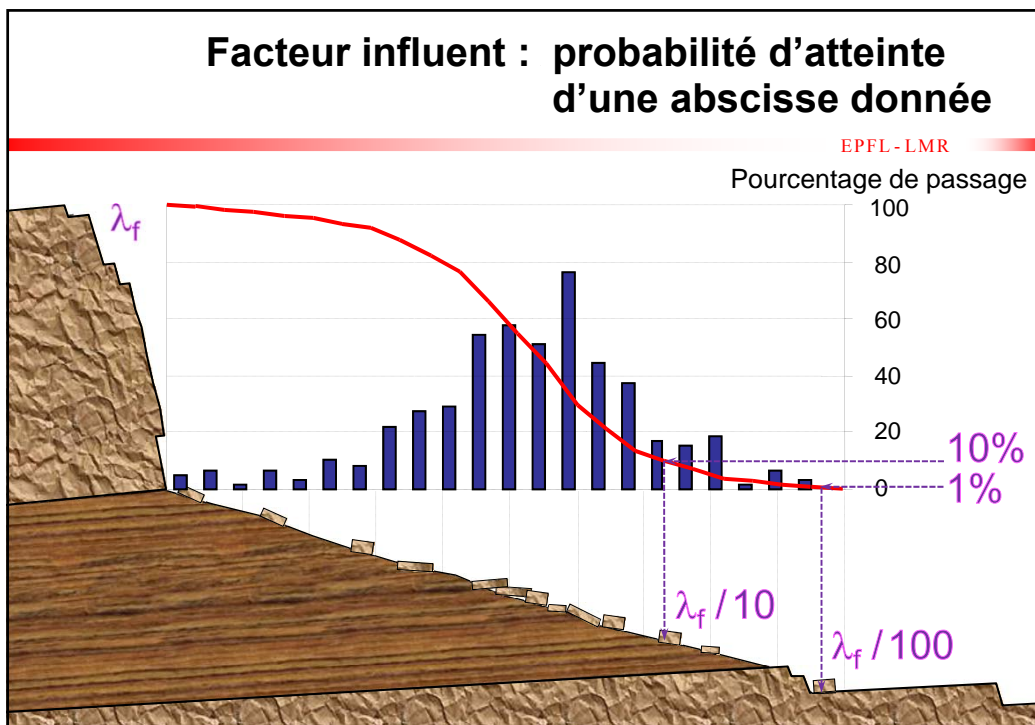
Facteur influent : fréquence des événements

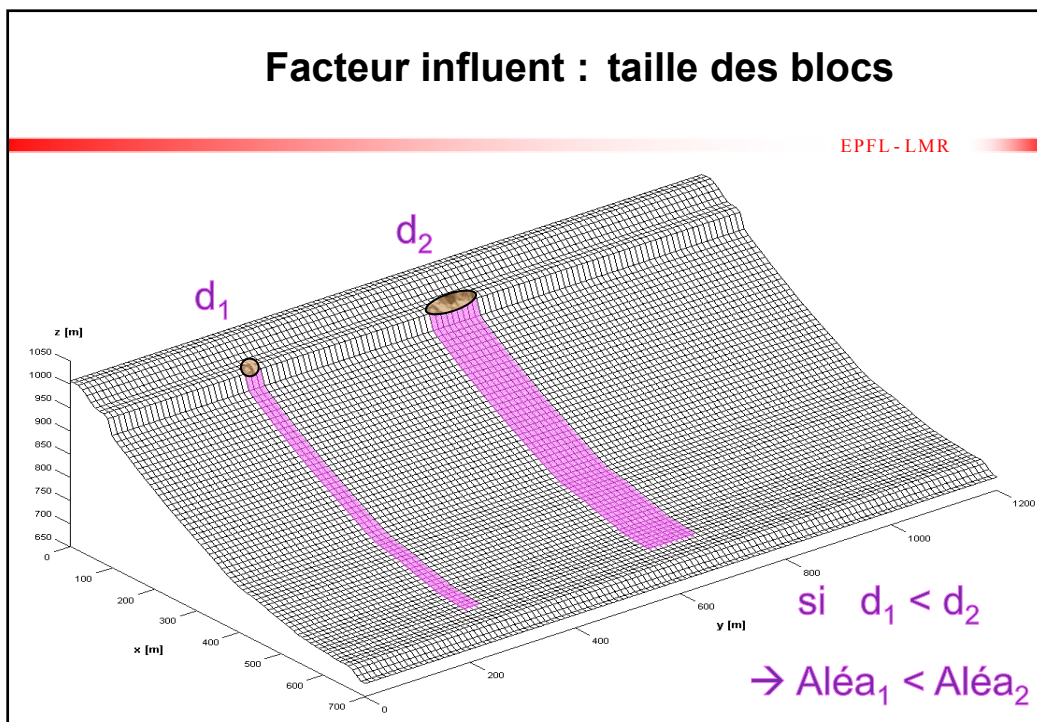
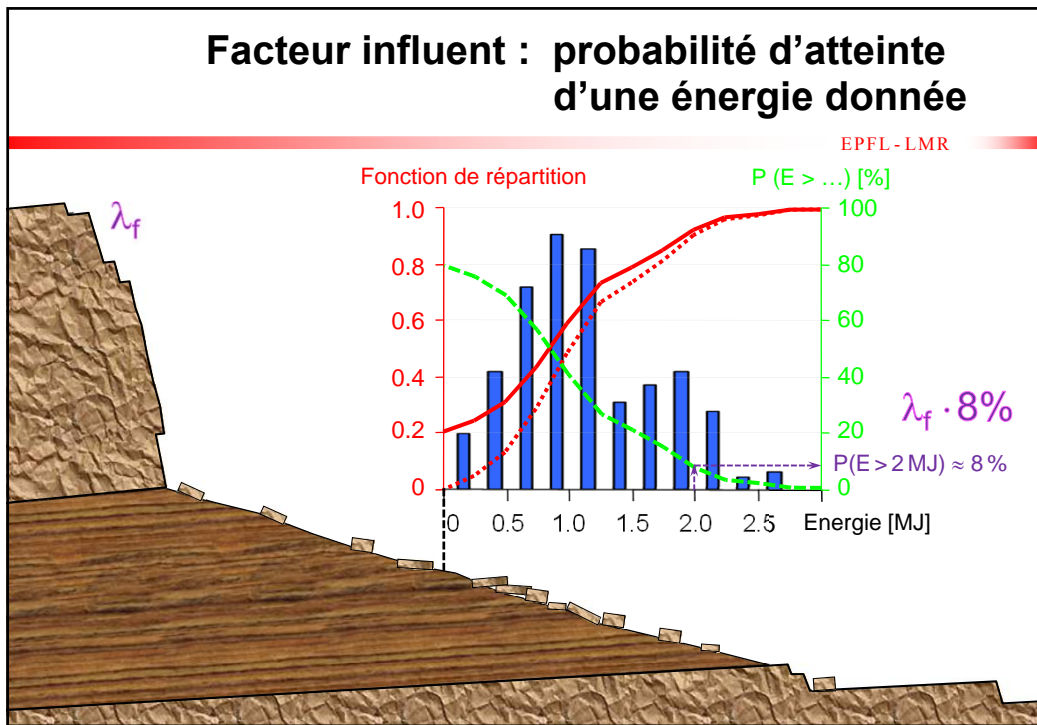
EPFL - LMR



λ_{f1} λ_{f2}

si $\lambda_{f1} > \lambda_{f2}$
→ Aléa₁ > Aléa₂





Méthodologie de zonage de l'aléa rocheux pour l'aménagement du territoire

EPFL - LMR



- Introduction
 - Contexte - définitions - incertitudes
 - Méthodologies existantes
- Méthodologie Cadanav
 - Facteurs influençant l'aléa rocheux
 - Procédure de zonage
- Applications
 - Profil 2D
 - Topographie 3D
 - Combinaison de sources
- Conclusions

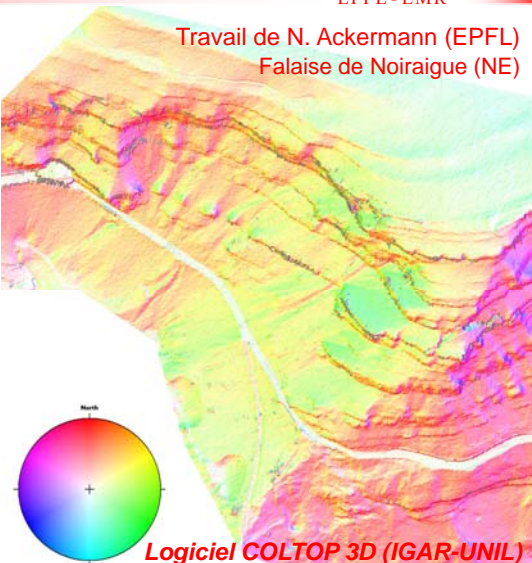
λ_f : fréquence de départ de blocs en falaise estimée à partir d'un cadastre des événements

EPFL - LMR

Production de la falaise estimée par le nombre (moyen) de blocs s'étant détachés durant une période d'observation, rapportée par unité de longueur de falaise :

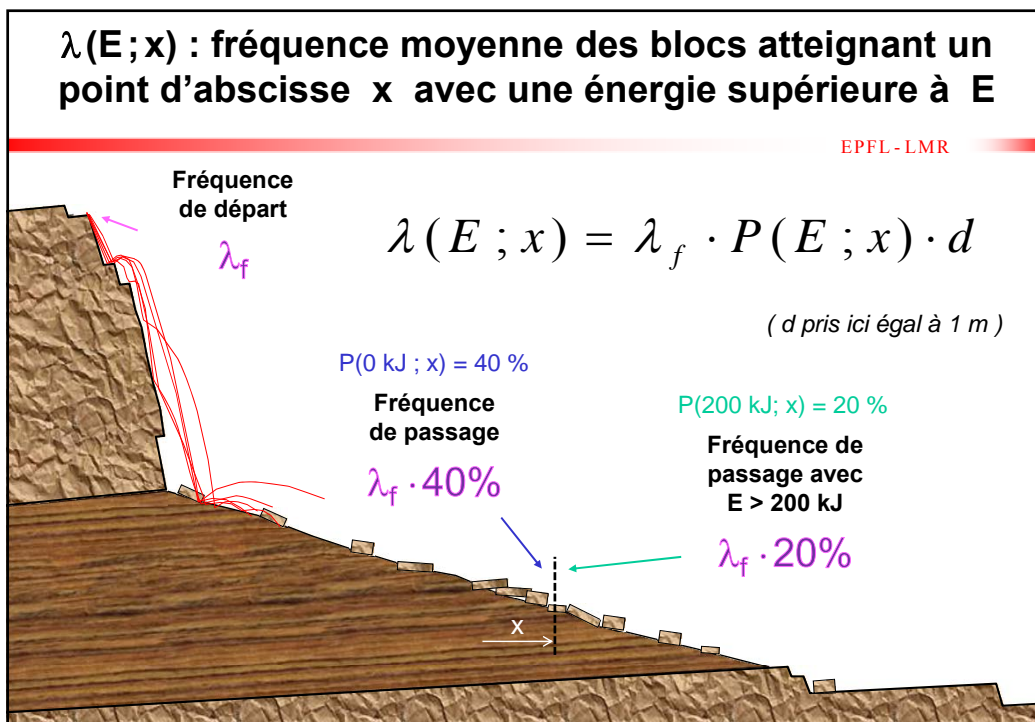
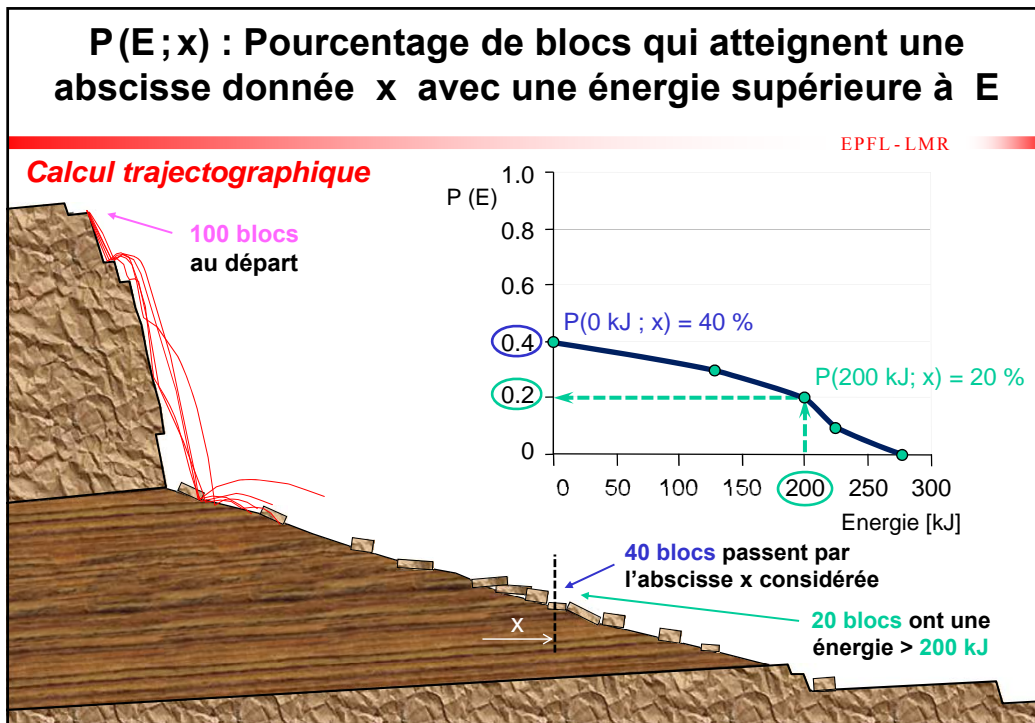
$$\lambda_f = \frac{N_{\text{événements}} \cdot N_{\text{blocs}}}{T_{\text{observation}}} \cdot \frac{1}{L}$$

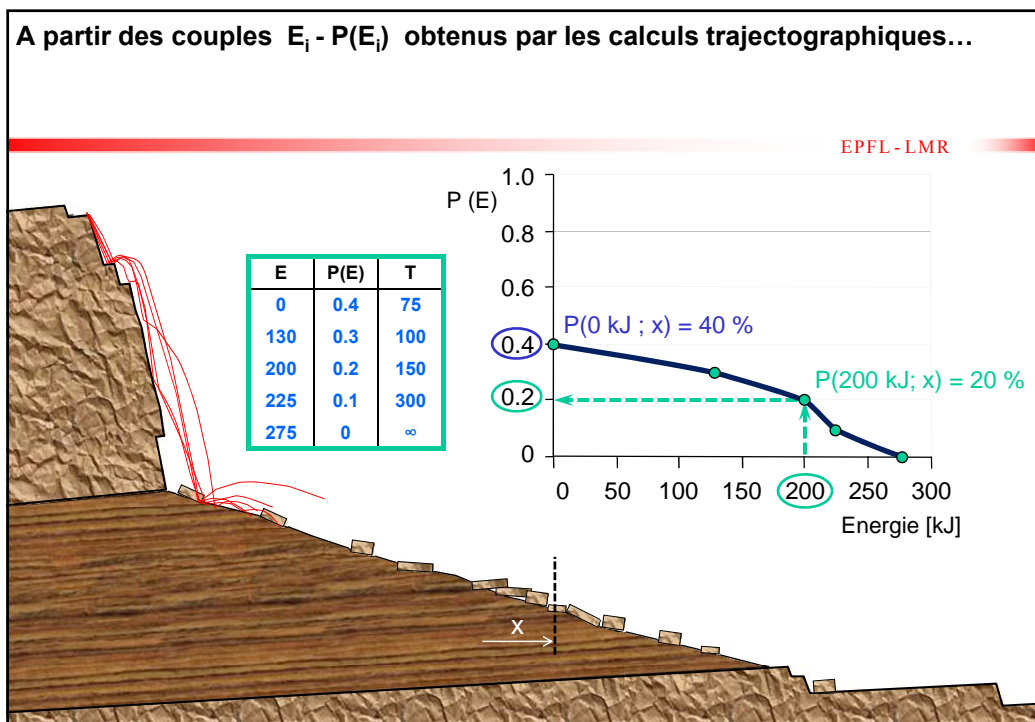
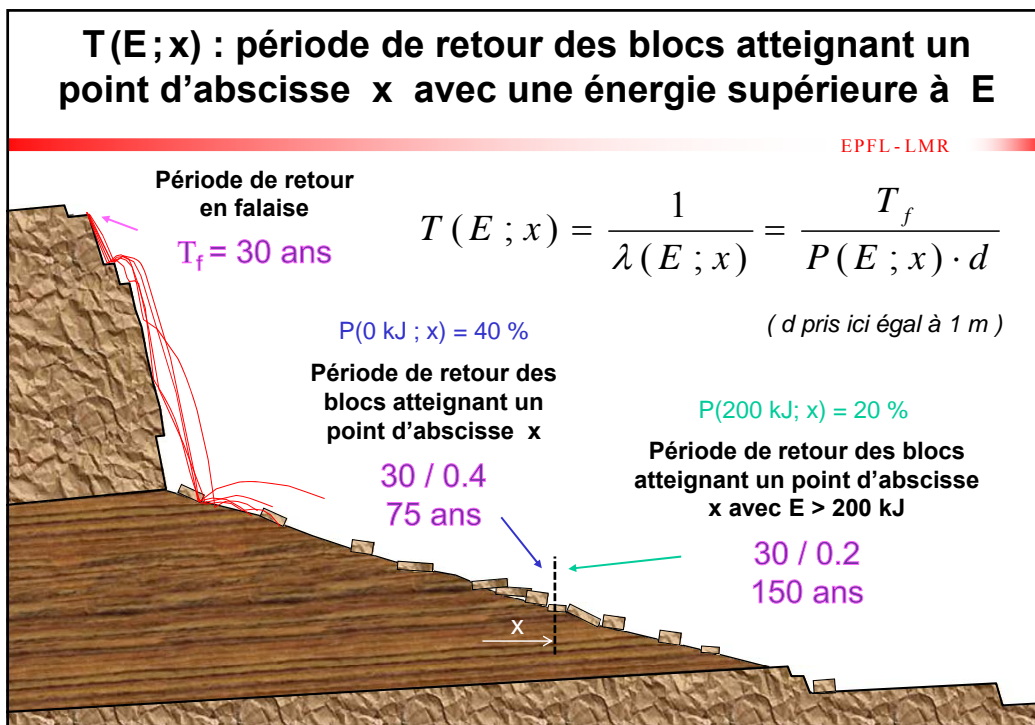
$T_{\text{observation}}$: Période d'observation
 $N_{\text{événements}}$: Nombre d'événements
 N_{blocs} : Nombre moyen de blocs par événement
 L : Longueur de falaise

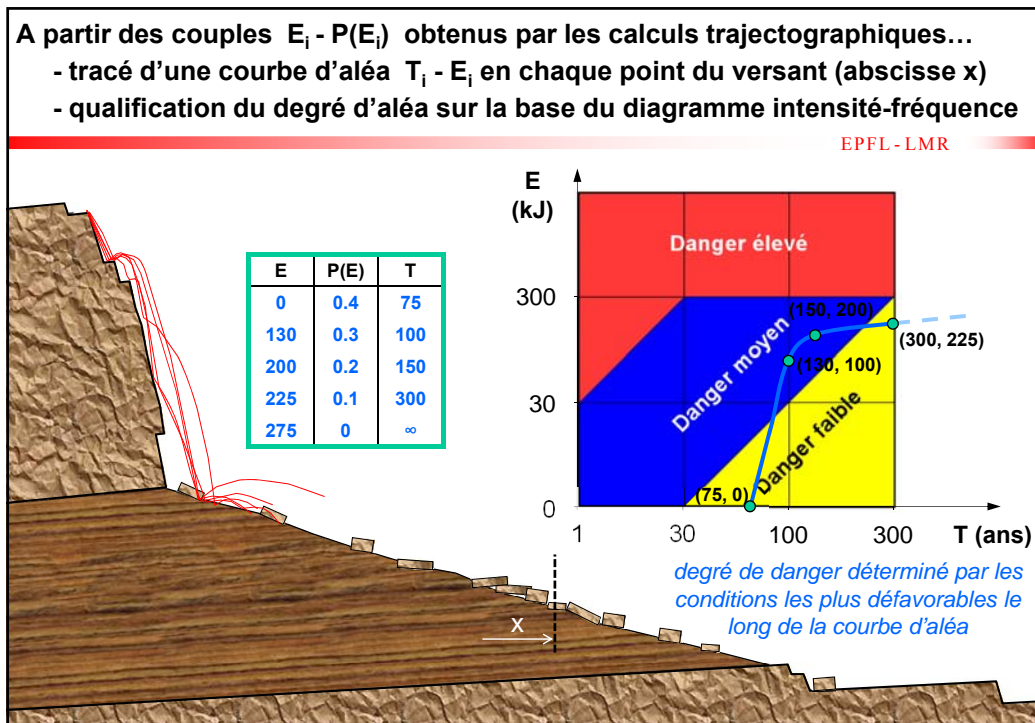


Travail de N. Ackermann (EPFL)
 Falaise de Noiraigue (NE)

 Logiciel COLTOP 3D (IGAR-UNIL)





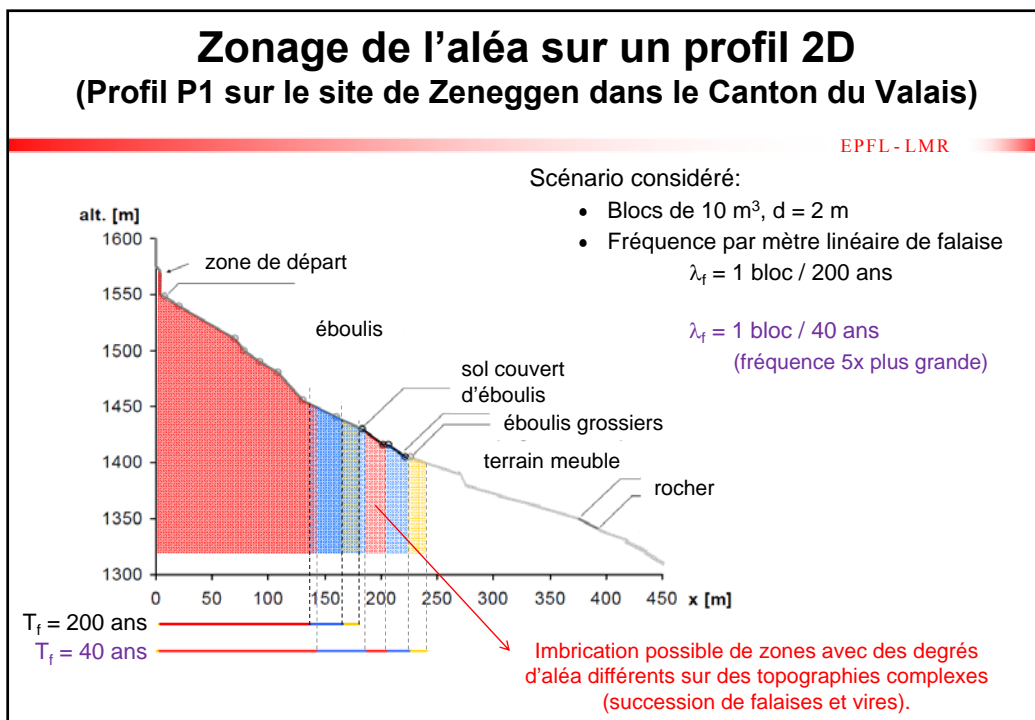
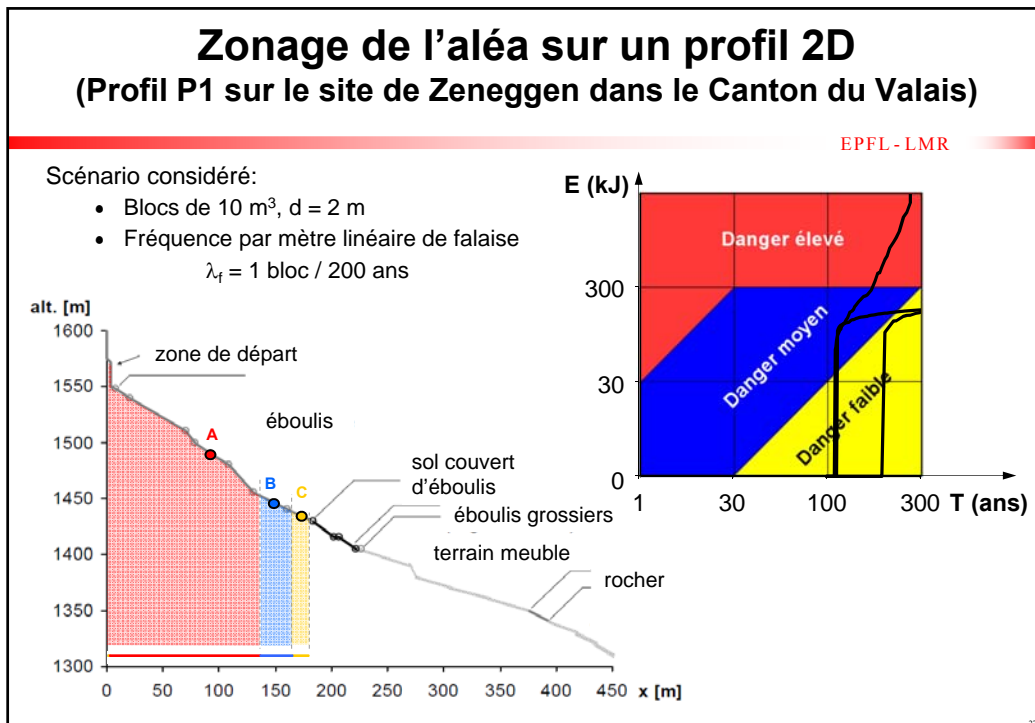


Méthodologie de zonage de l'aléa rocheux pour l'aménagement du territoire

EPFL - LMR



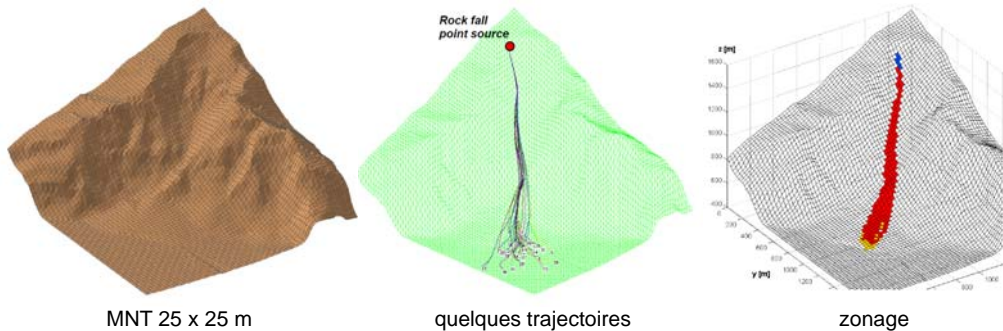
- Introduction
 - Contexte - définitions - incertitudes
 - Méthodologies existantes
- Méthodologie Cadanav
 - Facteurs influençant l'aléa rocheux
 - Procédure de zonage
- Applications
 - Profil 2D
 - Topographie 3D
 - Combinaison de sources
- Conclusions



Zonage de l'aléa sur une topographie 3D (site des Crétaux dans le Valais central)

EPFL - LMR

- Modèle Numérique de Terrain avec une maille de 25 m
- Calculs trajectographiques avec le logiciel Eboulement (LMR-EPFL)
- Scénario considéré:
 - Blocs parallélépipédiques de 1.0, 0.6 et 0.6 m de côté (0.36 m³)
 - Fréquence de départ de 1 bloc par année depuis la cellule source

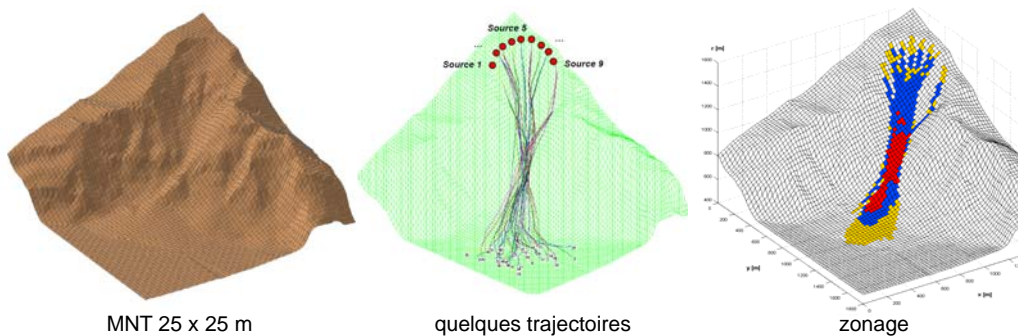


Le zonage est peu influencé par l'existence de blocs extrêmes → méthode robuste

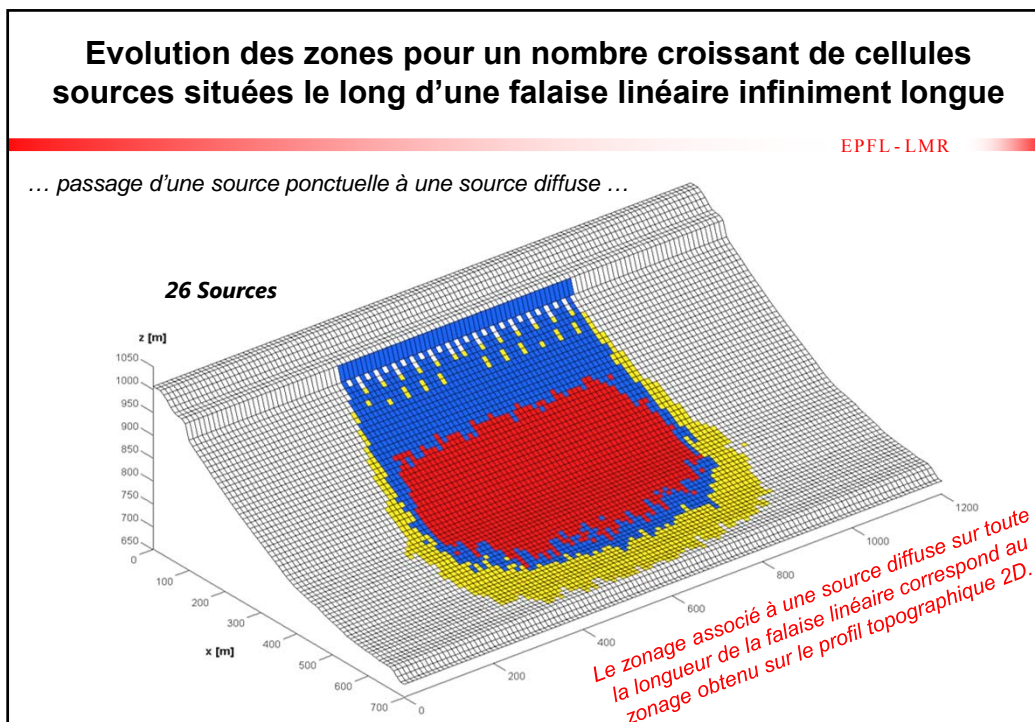
Combinaison de sources sur une topographie 3D (site des Crétaux dans le Valais central)

EPFL - LMR

- Modèle Numérique de Terrain avec une maille de 25 m
- Calculs trajectographiques avec le logiciel Eboulement (LMR-EPFL)
- Scénario considéré:
 - Blocs parallélépipédiques de 1.0, 0.6 et 0.6 m de côté (0.36 m³)
 - Départ de blocs depuis 9 cellules source, avec une période de retour de: $T_f = 4$ ans



Les zones d'aléa résultant de la considération de plusieurs sources sont plus étendues que celles obtenues par simple superposition des zones d'aléa déterminées pour chacune des sources.



Quelques considérations complémentaires

EPFL - LMR

- Méthode applicable à partir des résultats de divers logiciels trajectographiques (*condition: distribution de l'énergie par des couples $E_i - P(E_i)$*) :
 - Rockfall Simulation Program (2D; Dr. Spang)
 - Eboulement (3D; LMR-EPFL)
 - Rockyfor3D (3D; EcorisQ)
 - Rockfall (2D; Rocscience), dans une moindre mesure.

- Méthode applicable avec divers diagrammes intensité-fréquence :
 - Suisse
 - Principauté d'Andorre
 - France à l'avenir...?

Période de retour (Probabilité)

Intensité [kJ]

300 kJ
Moyenne
30 kJ
Faible

sup 000 Moyenn 000 Faible 000

Période de retour

sup 000	sup 000	sup 000
sup 000	sup 000	sup 000
sup 000	sup 000	sup 000
sup 000	sup 000	sup 000

Intensité [kJ]

10'000 kJ
500 kJ
Faible

Faible sup 000 Moyenne sup 000 Elevée sup 000

Méthodologie de zonage de l'aléa rocheux pour l'aménagement du territoire

EPFL - LMR



- Introduction
 - Contexte - définitions - incertitudes
 - Méthodologies existantes
- Méthodologie Cadanav
 - Facteurs influençant l'aléa rocheux
 - Procédure de zonage
- Applications
 - Profil 2D
 - Topographie 3D
 - Combinaison de sources
- Conclusions

Méthodologie CADANAV de zonage de l'aléa rocheux pour l'aménagement du territoire

EPFL - LMR

- ☺ méthodologie de zonage de l'aléa « chute de blocs » développée au LMR-EPFL consistant en un couplage rigoureux de l'énergie et de la fréquence d'occurrence des événements potentiels (*selon la définition de « hazard » admise au niveau international*)
- ☺ Utilisation de « courbes d'aléa » permettant une visualisation aisée du degré d'aléa en un point du versant ainsi que son évolution spatiale et/ou temporelle
- ☺ applicable dans des configurations topographiques 2D et 3D ainsi que pour des sources ponctuelles et diffuses (éventuellement combinées)
- ☺ caractère rigoureux garantissant un zonage indépendant de l'utilisateur et/ou du bureau d'études (*une fois le scénario de rupture fixé et les calculs trajectographiques réalisés*).
- ☺ zonage peu influencé par l'existence de blocs extrêmes dans les trajectos
- ☺ applicable avec n'importe quel diagramme intensité-fréquence prescrit dans des directives nationales (Suisse, Principauté d'Andorre... France à l'avenir ?)