

La place de l'expertise dans l'évaluation de l'aléa « éboulement rocheux »

Exemple d'une expérimentation originale

Adeline DELONCA*, doctorante

Yann GUNZBURGER

Thierry VERDEL

* adeline.delonca@mines.inpl-nancy.fr

Contexte

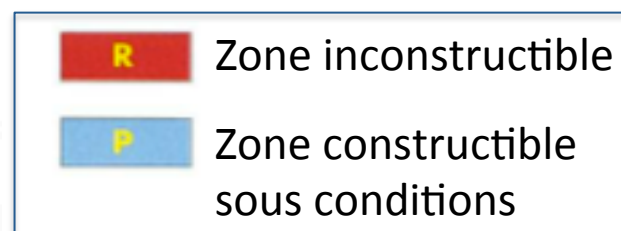
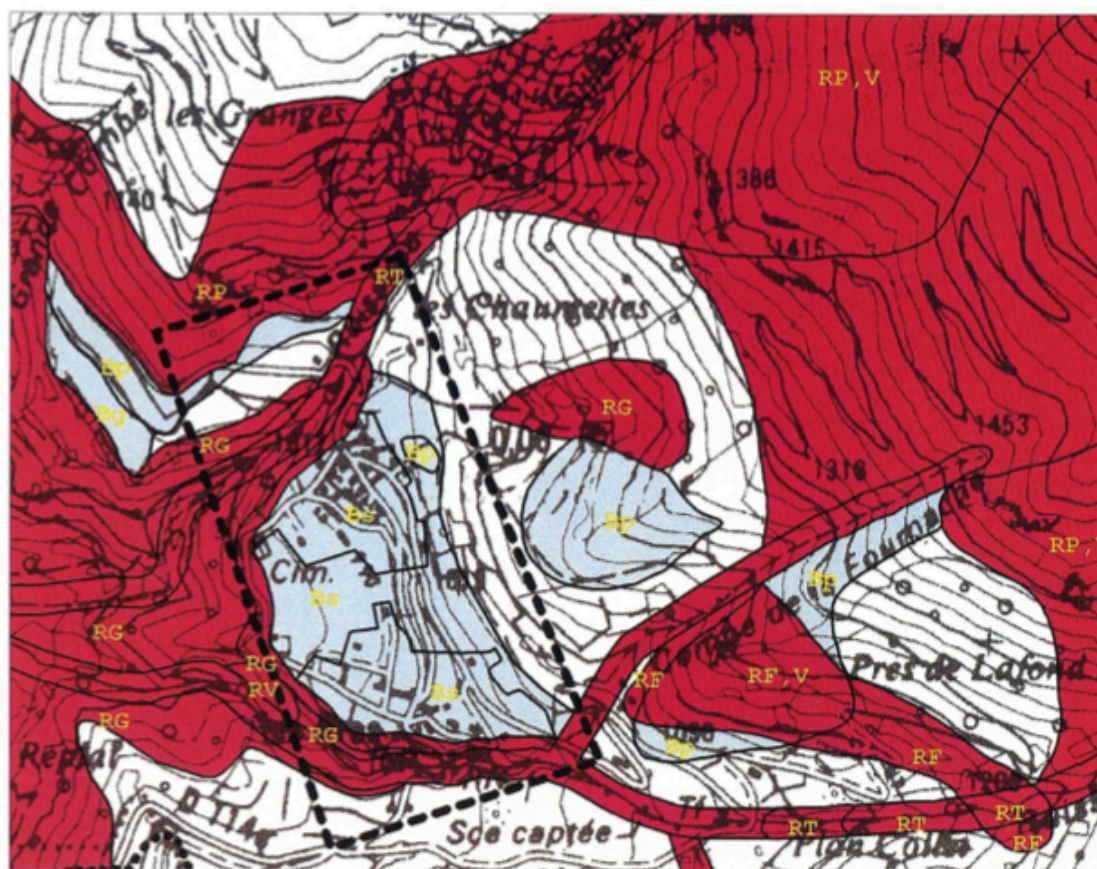
- Éboulements rocheux = source de danger pour les infrastructures de transport et les zones habitées



- Quasi-absence de signes précurseurs à un événement
- Importance de l'identification des zones dangereuses

Contexte

- En France, zonage réglementaire : Plan de Prévention des Risques (PPR)

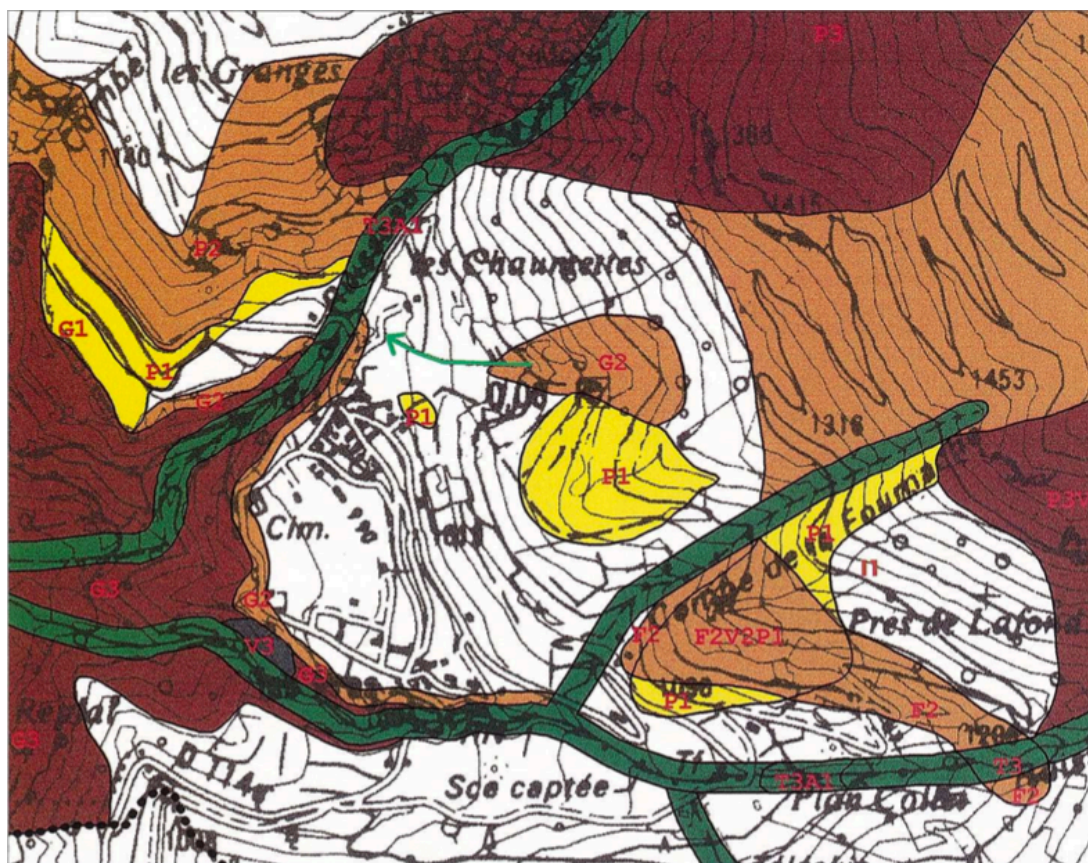


Oris-en-Rattier (38)

Source : Guide méthodologique LPC – Plan de Prévention des Risques Naturels PPR

Contexte

- En France, zonage réglementaire : Plan de Prévention des Risques (PPR) ... basés fortement sur la carte d'aléa



Aléa: faible moyen fort		
I1	I2	I3
G1	G2	G3
P1	P2	P3
	F2	

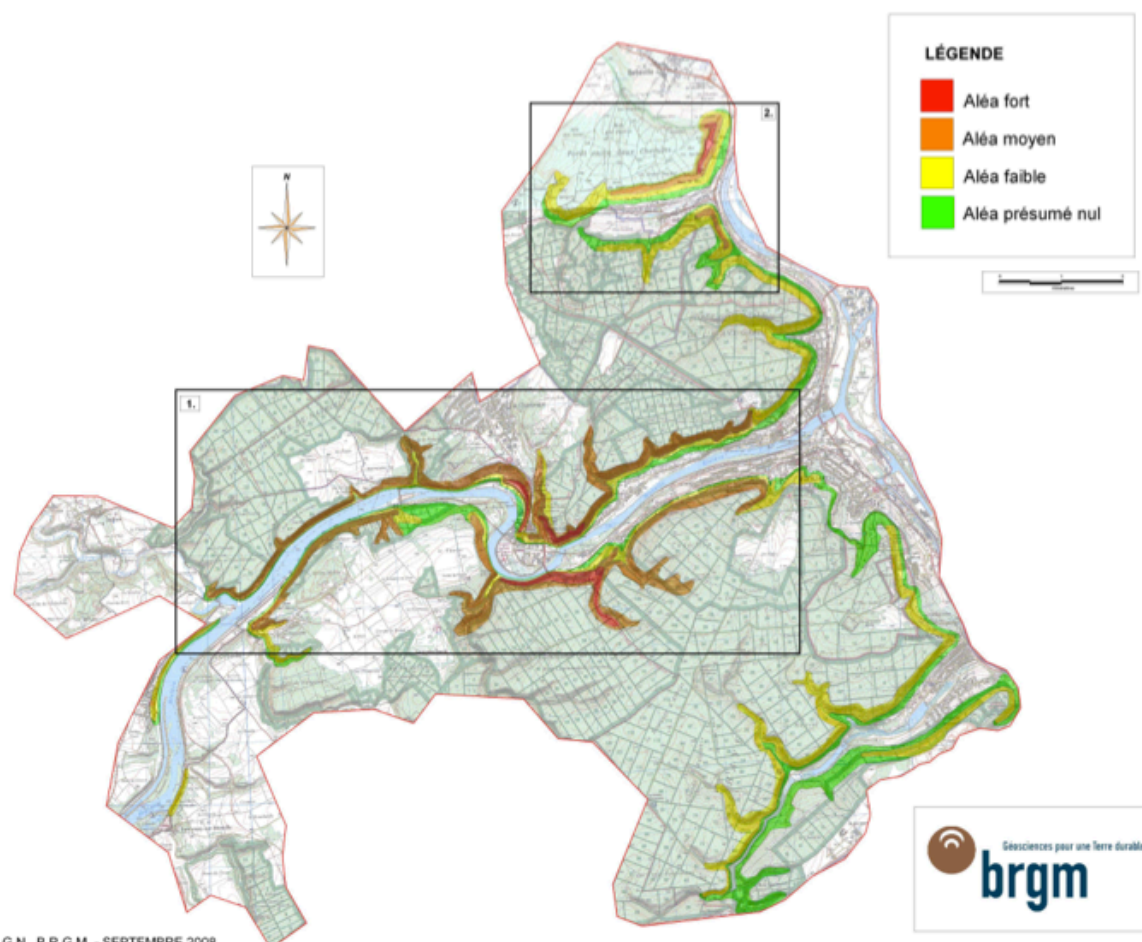
I : inondation
 G : glissement de terrain
 P : chute de pierres et blocs

Oris-en-Rattier (38)

Source : Guide méthodologique LPC – Plan de Prévention des Risques Naturels PPR

Contexte


- Etudes spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux



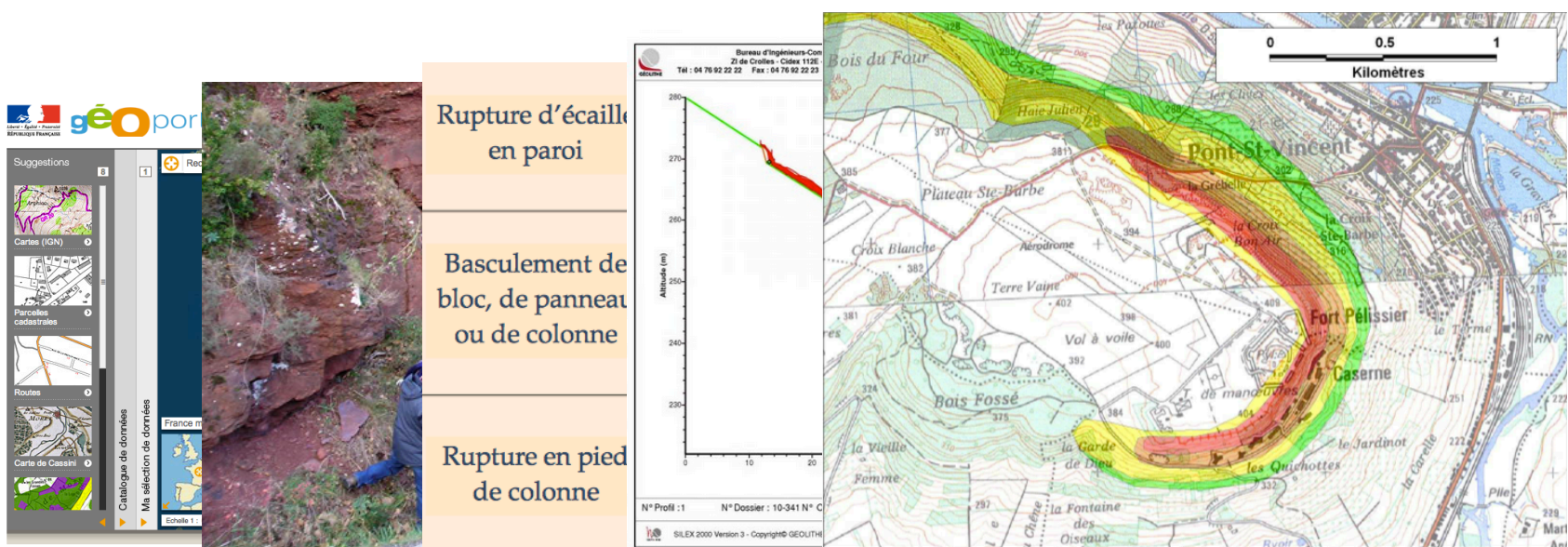
Liverdun-Frouard (54)

Source : Aléa chute de bloc sur le territoire départemental de Meurthe et Moselle (54) – Dossier BRGMRP-56628-FR


Contexte

- Méthodologie type de l'évaluation de l'aléa:
 1. Recherches documentaires et historiques
 2. Visite sur site : analyser les mécanismes mis en jeu
 3. Prévoir l'évolution future du site
 4. Analyse trajectographique 
 5. Proposition d'un zonage de l'aléa - Préconisations

} Aléa de départ
Aléa de propagation



Contexte

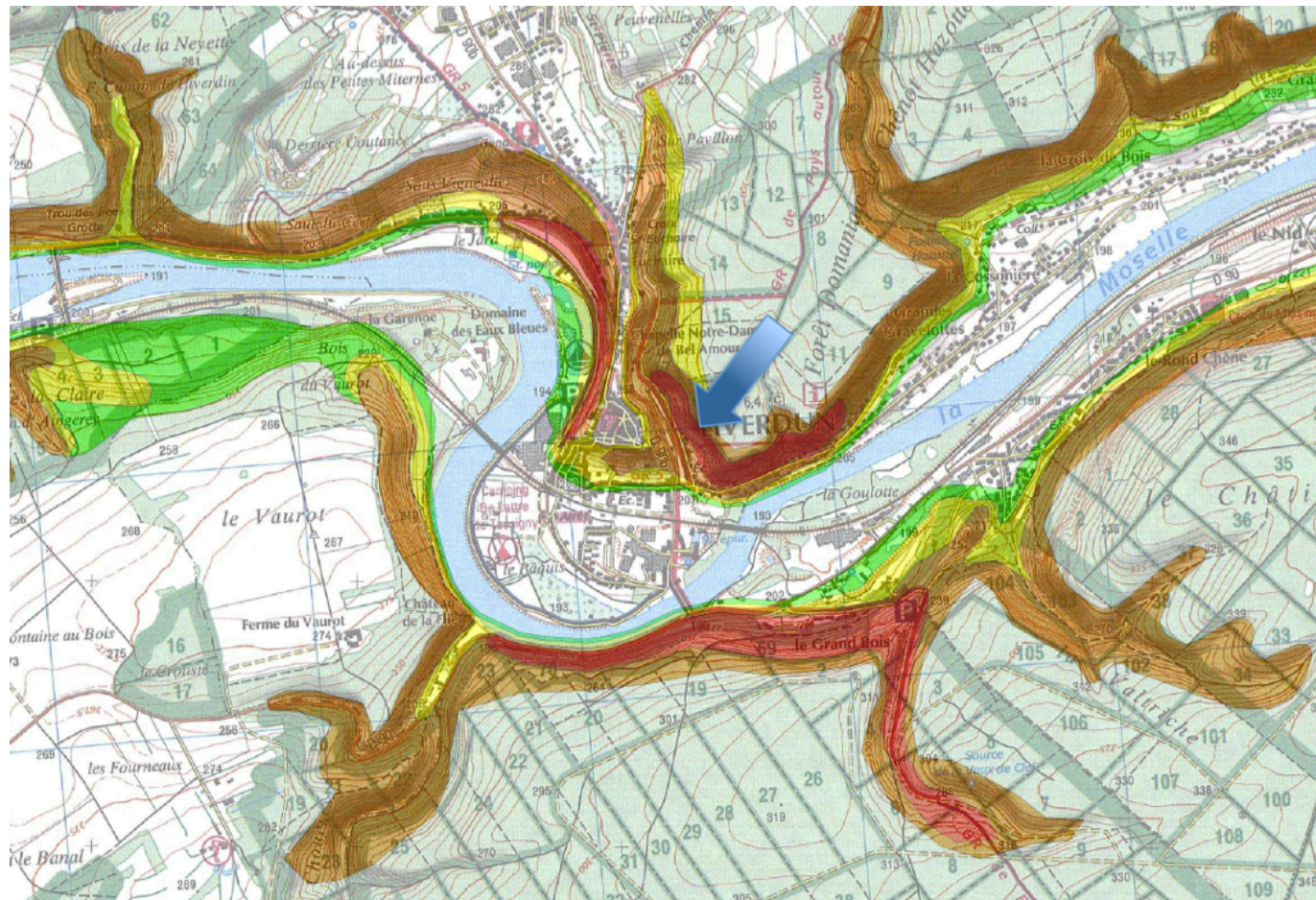
- Méthodologie type d'élaboration de ces cartes :
 1. Recherches documentaires et historiques
 2. Visite sur site : analyser les mécanismes mis en jeu
 3. Prévoir l'évolution future du site
 4. Analyse trajectographique 
 5. Proposition d'un zonage de l'aléa – Préconisations
- Elaboration des cartes d'aléa dans un temps limité



**Place de l'expertise dans l'évaluation de l'aléa
« éboulements rocheux »**

Protocole expérimental

- 1 site



LÉGENDE

- Aléa fort
- Aléa moyen
- Aléa faible
- Aléa présumé nul

Protocole expérimental

- 1 site



Protocole expérimental





SECTEUR 2





18/10/12

Réunion CFMR - Risque en Ingénierie des Roches

12



SECTEUR 3

18/10/12

Réunion CFMR - Risque en Ingénierie des Roches

13

Protocole expérimental

- 1 site
 - 3 secteurs
 - 2 méthodes d'évaluation de l'aléa
 - Méthode LPC (« Laboratoire des Ponts et Chaussées »)
 - Méthode SMR (Slope Mass Rating)
 - ... Ainsi que l'évaluation *a priori* du niveau d'aléa

Méthode LPC

- Evaluation de l'aléa de départ :

1. Caractérisation des instabilités potentielles :

- Données géomécaniques
- Données hydrologiques
- Donnée climatiques
 - Volume mobilisable mis en jeu
 - Processus de rupture
 - Facteurs déterminants

2. Qualification de l'aléa:

- Probabilité d'occurrence
- Délai







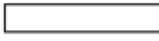
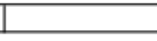
















Méthode LPC

Probabilité d'occurrence

Très élevée (te)	L'occurrence du phénomène est normale. Sa non-occurrence serait exceptionnelle	La probabilité est appréciée en fonction des facteurs déterminants (présence et/ou intensité)
Elevée (e)	L'occurrence du phénomène est plus envisageable que sa non-occurrence	
Modérée (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)	La non-occurrence du phénomène est normale. Son occurrence serait exceptionnelle	

Délai

Imminent	i	Prise en compte immédiate (le délai se compte en heures, jours, semaines ou mois)
Très court terme	tct	2 ans environ
Court terme	ct	10 ans environ
Moyen terme	mt	De l'ordre de 30-50 ans
Long terme	lt	De l'ordre de 100-150 ans

Facteurs	Favorable à la stabilité		Défavorable à la stabilité	
EXEMPLE				
Sismicité	<i>Tout le département est en zone de sismicité très faible.</i>		Déstabilisation en cas de séismes.	
	1 (stable)			4 (instable)
DONNEES GEOMECHANIQUES				
Pente du talus	Faible			Verticale à déversante
Discontinuités	Absentes			Présentes
Surfaces des discontinuités	Rugueuses			Lisses
Ouverture des discontinuités	Fermées			Ouvertes
Remplissage de l'ouverture des discontinuités	Colmatées			Non colmatées
Orientation des discontinuités critiques	Favorable à la stabilisation du massif		"Favorable" à la déstabilisation du massif	
	Schéma du site : 			
DONNEES HYDROLOGIQUES ET CLIMATIQUES				
Eau intersticielle	Exposition nulle			Exposition fréquente
Pluviométrie / fonte des neiges	Jamais exposé			Exposition plusieurs dizaines de jours par an
Fortes variations de température / cycle gel-dégel	Jamais exposé			Exposition plusieurs dizaines de jours par an
Végétation	Stabilisante			Déstabilisante

Méthode LPC – Notre adaptation

- Impact des facteurs déterminants sur la stabilité
➔ **Evaluation d'un niveau de prédisposition (notion de délai intégrée)**

Prédisposition	Echelle
Très élevée (te)	La rupture du ou des bloc(s) va avoir lieu. Qu'elle n'ait pas lieu serait exceptionnel
Elevée (e)	La rupture du ou des bloc(s) est plus envisageable que sa stabilité
Modérée (m)	La rupture du ou des bloc(s) est équivalente à sa stabilité
Faible (f)	La stabilité du ou des bloc(s) est plus envisageable que sa rupture
Très faible (tf)	La stabilité du ou des bloc(s) est normale. Une rupture serait exceptionnelle

- Croisement avec l'intensité (volume mobilisable)

Intensité	Quantification de l'intensité
< 0.001 m ³	Très faible
0.001 à 0.01 m ³	Faible
0.01 à 1 m ³	Moyenne
1 à 100 m ³	Elevée
> 100 m ³	Très élevée

Méthode LPC – Notre adaptation

- Impact des facteurs déterminants sur la stabilité

Aléa : Evaluation d'un niveau de prédisposition (notion de délai intégrée)

Prédisposition \ Intensité	Prédisposition				
	Très faible	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Très faible	Faible	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne
Faible	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Elevée
Moyenne	Faible	Moyenne	Moyenne	Elevée	Elevée
Elevée	Moyenne	Moyenne	Elevée	Elevée	Elevée
Très élevée	Moyenne	Elevée	Elevée	Elevée	Elevée

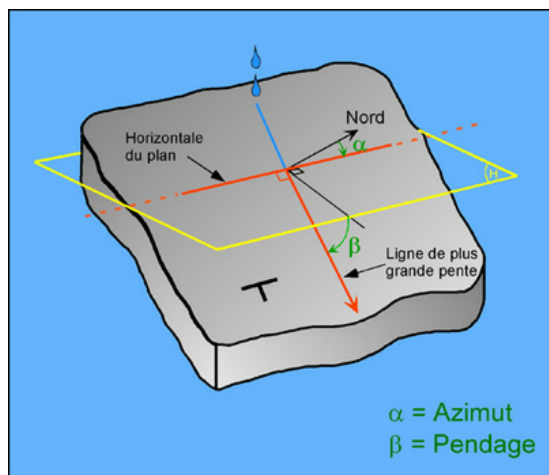
0.001 à 0.01 m ³	Faible
0.01 à 1 m ³	Moyenne
1 à 100 m ³	Elevée
> 100 m ³	Très élevée

Méthode SMR

- $SMR = RMR + (F1.F2.F3) + F4$
- RMR :
 - Résistance à la compression R_c
 - Espacement moyen des discontinuités
 - RQD
 - Conditions des discontinuités (surface des joints – rugosité, altération)
 - Eau souterraine (venue d'eau)

Méthode SMR

- $SMR = RMR + (F1.F2.F3) + F4$
 - F1 : mesure la différence d'azimut entre la pente et les discontinuités ($\alpha_j - \alpha_s$)
 - F2 : pendage des discontinuités (β_j)
 - F3 : mesure la différence d'angle entre le pendage des discontinuités et celui de la pente ($\beta_j - \beta_s$)
 - F4 : prends en compte la méthode d'excavation



α_s : azimut de la pente
 α_j : azimut des discontinuités critiques
 β_s : pendage de la pente
 β_j : pendage des discontinuités critiques

Méthode SMR : matrice d'évaluation de l'aléa

- SMR :

Valeur du SMR	Qualification de la sensibilité à la stabilité du site
$SMR \leq 20$	Très défavorable à la stabilité du site
$20 < SMR \leq 40$	Défavorable à la stabilité du site
$40 < SMR \leq 60$	Moyennement favorable à la stabilité du site
$60 < SMR \leq 80$	Favorable à la stabilité du site
$80 < SMR$	Très favorable à la stabilité du site

- Activité:

Activité	Qualification du massif
Traces morphologiques estompées Pas d'altération du massif	Dormant
Traces morphologiques évoluées Altération superficielle	Inactif ou peu actif
Traces morphologiques fraîches Altération profonde	Frais
Traces morphologiques Altération active	Actif

Méthode SMR : matrice d'évaluation de l'aléa

- SMR :

		Valeur du SMR				
		Qualification de la sensibilité à la stabilité du site				
		Favorable à la stabilité du site				
		Favorable à la stabilité du site				
Probabilité d'occurrence :						
Activité \ SMR		Très favorable	Favorable	Moyen	Défavorable	Très défavorable
Dormant		Négligeable	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne
Inactif ou peu actif		Faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Elevée
Frais		Faible	Moyenne	Moyenne	Elevée	Elevée
Actif		Moyenne	Moyenne	Elevée	Elevée	Elevée

Traces morphologiques évoluées Altération superficielle	Inactif ou peu actif
Traces morphologiques fraîches Altération profonde	Frais
Traces morphologiques Altération active	Actif

Méthode SMR : matrice d'évaluation de l'aléa

- Probabilité d'occurrence :

SMR \ Activité	Très favorable	Favorable	Moyen	Défavorable	Très défavorable
Dormant	Négligeable	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne
Inactif ou peu actif	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Elevée
Frais	Faible	Moyenne	Moyenne	Elevée	Elevée
Actif	Moyenne	Moyenne	Elevée	Elevée	Elevée

- Intensité :

Volume mobilisable	Qualification de l'intensité
$< 10^{-3} \text{ m}^3$	Chutes de pierres
$10^{-3}-1 \text{ m}^3$	Chutes de blocs
$> 1 \text{ m}^3$	Eboulements
$> 10 \text{ m}^3$	Eboulements majeurs

Méthode SMR : matrice d'évaluation de l'aléa

- Probabilité d'occurrence :

Aléa :		SMR					
		Très favorable	Favorable	Moyen	Défavorable	Très défavorable	
Intensité	Probabilité d'occurrence	Négligeable	Faible	Moyenne	Elevée		
	Chute de pierres	Nul	Faible	Faible	Moyenne		
Chute de blocs	Faible	Faible	Moyenne	Moyenne			
Eboulements	Faible	Moyenne	Moyenne	Elevée			
Eboulements majeurs	Moyenne	Moyenne	Elevée	Elevée			

Volume mobilisable	Qualification de l'intensité
< 10 ⁻³ m ³	Chutes de pierres
10 ⁻³ -1 m ³	Chutes de blocs
> 1 m ³	Eboulements
> 10 m ³	Eboulements majeurs

Protocole expérimental

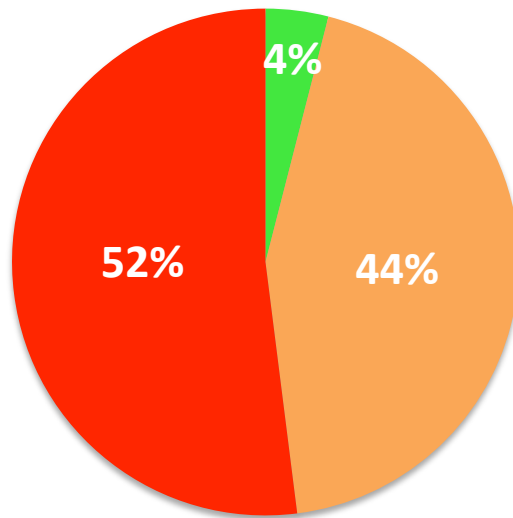
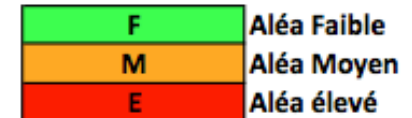
- 1 site
 - 3 secteurs
 - 2 méthodes d'évaluation de l'aléa
 - Méthode LPC (« Laboratoire des Ponts et Chaussées »)
 - Méthode SMR (Slope Mass Rating)
 - ... Ainsi que l'évaluation *a priori* du niveau d'aléa
 - 3 niveau d'expertise
 - 25 étudiants en géoingénierie
 - 7 enseignants-chercheurs
 - 6 experts confirmés (CETE, BRGM, SNCF, INERIS)



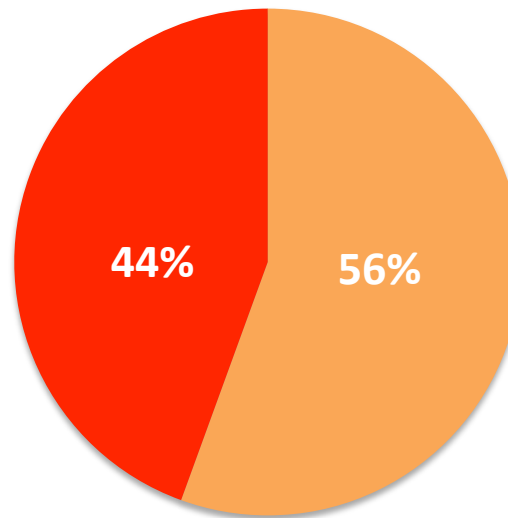
Analyse des résultats

- Analyse préliminaire

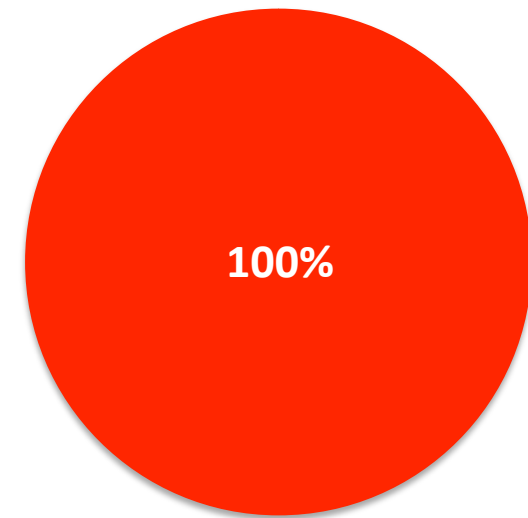
Secteur 3 – évaluation a priori



Etudiants (25)



Enseignants (7)



Experts (6)

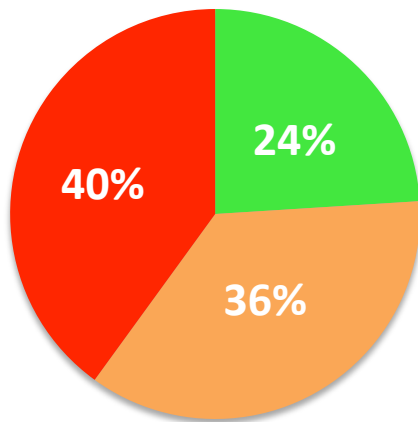
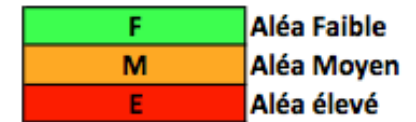


Plus grande dispersion chez les étudiants et les enseignants

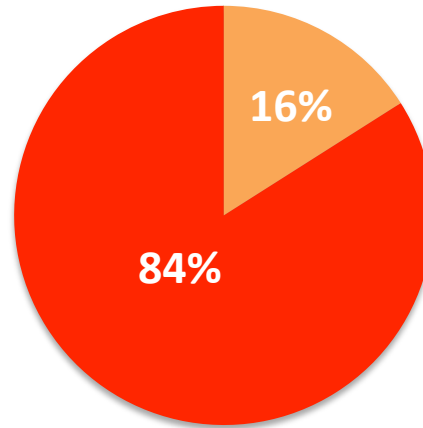
Analyse des résultats

- Analyse préliminaire

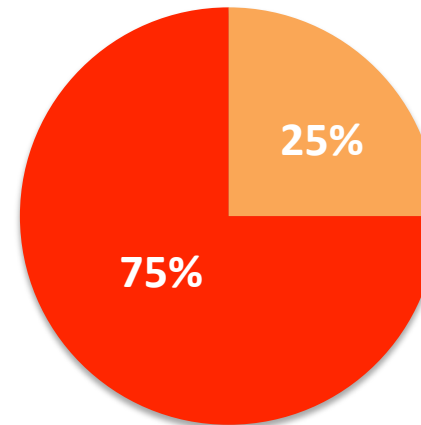
Secteur 3 – Méthode LPC



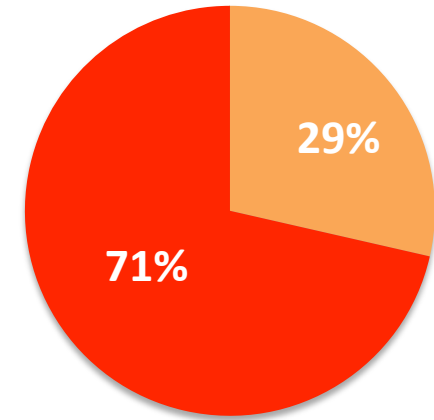
Tirage aléatoire (100 000)



Etudiants (25)



Enseignants (7)



Experts (6)

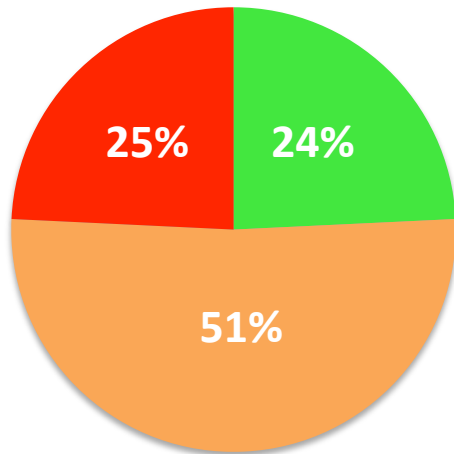
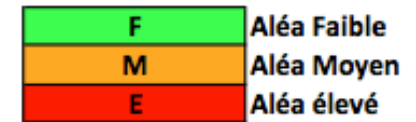


Forte ressemblance dans les résultats

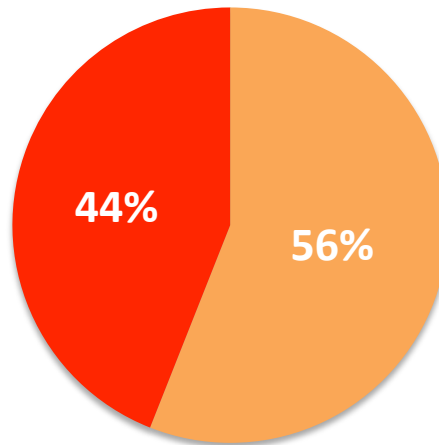
Analyse des résultats

- Analyse préliminaire

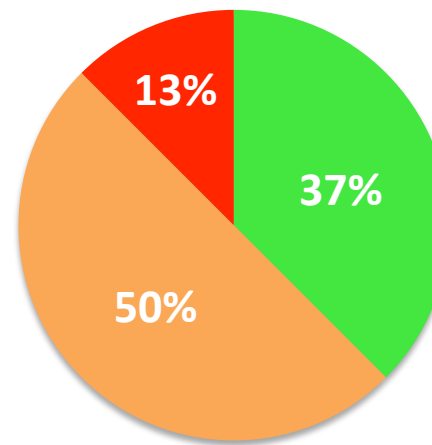
Secteur 3 – Méthode SMR



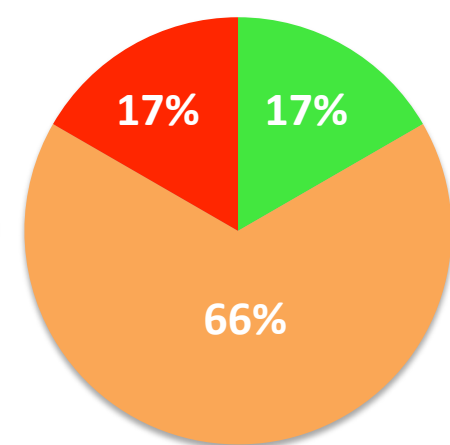
Tirage aléatoire (100 000)



Etudiants (25)



Enseignants (7)



Experts (6)



Plus grande dispersion chez les enseignants et les experts


Analyse des résultats

Aléa nul	1
Aléa faible	2
Aléa moyen	3
Aléa élevé	4

Etudiants	Evaluation <i>a priori</i>	Méthode LPC	Méthode SMR
Moyenne	3,48	3,84	3,44
Ecart-type	0,59	0,37	0,51

Enseignants	Evaluation <i>a priori</i>	Méthode LPC	Méthode SMR
Moyenne	3,56	3,67	2,8
Ecart-type	0,53	0,5	0,63

Experts	Evaluation <i>a priori</i>	Méthode LPC	Méthode SMR
Moyenne	3,57	3,71	3
Ecart-type	0,53	0,49	0,63

 Difficile d'évaluer l'influence de la méthode ou du niveau d'expertise

Analyse des résultats

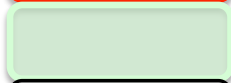
- ANOVA : analyse de la variance - Lecture des résultats

	DF	Sum of Squares	Mean square	F value	P < 5%
Méthode	2	7,317	3,66	8,52	0,00036
Expertise	2	2,645	1,32	3,08	0,0499
Méthode-expertise	4	0,946	0,24	0,55	0,699
Residuals	111	47,648	0,4296		
TOTAL	119	58,556	5,6496		

Secteur 1 – influence de la méthode utilisée et du niveau d'expertise sur l'évaluation de l'aléa



Influence significative du facteur



Influence non significative du facteur



Aucune influence du facteur

- Influence de la méthode utilisée et du niveau d'expertise sur le niveau d'aléa

SECTEUR 1	DF	Sum of Squares	Mean square	F value	F 5%
Méthode	2	7,317	3,66	8,52	0,00036
Expertise	2	2,645	1,32	3,08	0,0499
Méthode-expertise	4	0,946	0,24	0,55	0,699
Residuals	111	47,648	0,4296		
TOTAL	119	58,556	5,6496		

METHODE

EXPERTISE

SECTEUR 2	DF	Sum of Squares	Mean square	F value	F 5%
Méthode	2	5,463	2,73	8,62	0,00033
Expertise	2	1,174	0,59	1,85	0,161
Méthode-expertise	4	1,834	0,46	1,45	0,223
Residuals	114	36,113	0,317		
TOTAL	122	44,584	4,097		

METHODE

EXPERTISE

- Influence de la méthode utilisée et du niveau d'expertise sur le niveau d'aléa

SECTEUR 3	DF	Sum of Squares	Mean square	F value	F 5%	
Méthode	2	6,455	3,23	12,11	1,70e ⁻⁵	METHODE
Expertise	2	1,694	0,85	3,176	0,0455	EXPERTISE
Méthode-expertise	4	2,204	0,551	2,067	0,08975	
Residuals	114	30,395	0,267			
TOTAL	122	40,748	4,898			



1. Influence significative de la méthode choisie
2. Influence non significative du niveau d'expertise

Conclusion et discussion

- **Evaluation *a priori*** : dispersion importante des résultats pour les étudiants, moyenne pour les enseignants et faible à nulle pour les experts
- **Méthode LPC** : résultats semblables quelque soit le niveau d'expertise
- **Méthode SMR** : dispersion importante des résultats pour les enseignants et les experts : importance du volume choisi et de l'évaluation de l'activité du massif choisie

- Influence significative de la **méthode**
- Influence non significative du **niveau d'expertise**

Conclusion et discussion

- La **méthode LPC** « guide » la pensée : méthode utilisable par des non initiés, même si c'est une méthode qualitative
- **Méthode SMR** : trop grande sensibilité au volume, et à l'évaluation de l'activité du massif
- Plus value de l'expert : il ne surestime pas les paramètres utilisés et donc le niveau d'aléa
- Pour un site complexe, le niveau d'expertise a t'il une influence aussi peu significative ?

MERCI DE VOTRE ATTENTION