



**HAL**  
open science

# L'incertitude des analyses de risques de mouvements du terrain

Romuald Salmon

► **To cite this version:**

Romuald Salmon. L'incertitude des analyses de risques de mouvements du terrain. Rapport Scientifique INERIS, 2010, 2009-2010, pp.92-94. ineris-01869286

**HAL Id: ineris-01869286**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01869286>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# L'incertitude des analyses de risques de mouvements de terrain



R. Salmon

**E**ffondrements, glissements de terrain, chutes de blocs... Face aux conséquences dramatiques que peuvent avoir certains mouvements de terrain engendrés par les objets rocheux, la gestion des risques est devenue une demande forte des populations concernées et constitue l'une des priorités de travail des pouvoirs publics.

La gestion des risques s'appuie d'abord sur leur identification et leur évaluation : prévoir la nature des phénomènes susceptibles de se réaliser, anticiper les dangers auxquels les populations et les infrastructures peuvent être exposées, évaluer l'échéance de la réalisation des scénarios de risques. Telles sont les questions auxquelles l'expert doit

apporter des éléments de réponse. Il s'agit donc pour l'expert de formuler des avis sur le futur, le probable, afin que le décideur établisse des choix dans le présent.

L'expertise a pour objet d'établir un diagnostic d'une situation donnée afin d'identifier ses évolutions futures. La notion d'incertitude apparaît donc sur deux plans : la capacité d'établir un diagnostic précis d'une situation donnée ; et la capacité d'établir des scénarios d'évolution pertinents.

Les cavités souterraines (naturelles ou anthropiques) et les fronts rocheux à l'origine d'éventuels mouvements de terrain sont des milieux caractérisés par une grande variabilité. Par conséquent, les connaissances disponibles sur la source potentielle de danger sont limitées.

Dans le cadre d'un travail de thèse mené à l'INERIS par Maxime Cauvin, en partenariat avec le LAEGO [1], une analyse systémique des incertitudes propres aux analyses du risque de mouvement de terrain a été réalisée. Elle a permis de proposer des outils là où les carences techniques les plus fortes ont été identifiées.

## TYPOLOGIE DES INCERTITUDES

Puisque le concept d'incertitude est complexe au sens où il intègre des notions très différentes, il apparaît nécessaire d'en réaliser une typologie intégrant les spécificités liées aux mouvements de terrain.

## Incertitude de diagnostic

Le premier type d'incertitude concerne les données nécessaires à l'établissement d'un diagnostic de la situation actuelle.

- La disponibilité de la donnée : probablement l'une des spécificités de l'évaluation des risques « mouvements de terrain ». Il n'est pas toujours possible de disposer de l'information relative à l'existence même d'une source de danger – une cavité souterraine – en un endroit donné. L'ancienneté de certains travaux souterrains a pu entraîner la perte de tout plan d'exploitation. On s'appuie donc sur l'existence d'indices (présence d'une couche géologique propice à l'exploitation, mouvements de terrains passés...).

- La valeur, précision et fiabilité de la donnée. S'agissant des données disponibles, les problématiques classiques de l'incertitude de la donnée s'appliquent (variabilité naturelle, spatiale et temporelle, manque de connaissance, biais de la mesure lors de la caractérisation...) (figure 1).

## Incertitude d'expertise

L'incertitude d'expertise découle des choix que l'expert réalise au cours de son processus d'analyse.

- L'identification et la compréhension des phénomènes étudiés : problèmes liés à l'interprétation et l'analyse des événements passés, aux connaissances propres de l'expert, à sa capacité à se représenter le problème étudié.



**FIGURE 1**  
EXEMPLE D'INCERTITUDE SUR LA DONNÉE :  
COMPARAISON ENTRE PLAN MINIER GÉORÉFÉRENCÉ ET  
RELEVÉ TOPOGRAPHIQUE RÉEL (DONNÉES GEODERIS)

- Le choix de la méthode d'analyse : choix des scénarios, de la méthodologie de résolution, des outils et modèles adaptés.

### Incertitude de modèle

De la phase d'expertise découle le choix de modèles mathématiques ou numériques permettant d'évaluer, d'estimer ou de caractériser le risque. L'utilisation de tels outils ne permet néanmoins que d'approcher la réalité et induit une certaine indétermination du résultat de l'analyse. Plus concrètement, l'incertitude de modèle concerne :

- leur représentativité, c'est-à-dire le problème de la simplification de la réalité ;
- leur fiabilité, c'est-à-dire les « biais » qui résultent du modèle lui-même : problèmes de calibrage, problèmes liés à l'utilisation d'outils numériques, etc. ;
- la problématique de la propagation des incertitudes dans les modèles.

### DE NOUVEAUX OUTILS

S'appuyant sur la typologie établie et l'audit d'études d'analyses de risque de « mouvements de terrain », nous avons observé un certain nombre de carences : le manque d'outils permettant de préciser l'incertitude sur les données manquantes ; l'absence d'outils autorisant une hiérarchisation des sources d'incertitude.

### L'indice de confiance

Lorsque l'acquisition des données ou la recherche des travaux souterrains (par la réalisation de sondages, d'investigations sur site, de relevés topographiques...) ne peuvent pas être réalisées pour des raisons financières ou humaines, la stratégie mise en œuvre revient à adopter une approche qualitative. Ainsi, le problème de l'existence de travaux souterrains est particulièrement délicat à traiter pour l'expert. Plutôt que d'adopter la stratégie qui consiste à faire comme si les travaux existaient réellement – et ainsi à se placer dans le pire des cas – une marge de sécurité qualitative est indirectement utilisée.

La confiance que peut avoir un expert vis-à-vis de l'existence réelle d'une source de danger est dépendante de la source d'information qui lui a permis d'identifier celle-ci. La qualité de l'information influencera directement le

Plan à disposition	Exploitation partielle	Chambres et piliers		5	
		Vides de petites dimensions (galeries isolées, exploitation filonienne)		5	
	Exploitation totale	Bien foudroyée (cf. méthode d'exploitation)		1	
		Mal foudroyée (cf. qualité du plan, méthode d'exploitation)		3	
	Type d'exploitation inconnu	Exploitation voisine contemporaine	Exploitation totale		3
			Exploitation partielle		4
		Archives	Informations disponibles	Exploitation totale	3
				Exploitation partielle	5
		Pas d'information disponible	3		
Pas de plan à disposition	Géologie favorable + présence visible d'indices miniers (ancien effondrement, ouvrage)			4	
	Géologie favorable + présence mentionnée dans les archives d'indices miniers (ancien effondrement, ouvrage)			3	
	Géologie favorable OU ancien effondrement en surface OU présence mentionnée dans les archives de travaux miniers			2	
	Doute sur la nature du désordre visible OU fiabilité faible de l'information géologique			1	

**FIGURE 2**  
EXEMPLE DE GRILLE DE VALEURS POUR L'INDICE D'EXISTENCE DES VIDES SOUTERRAINS DE PETITES DIMENSIONS

niveau de confiance qu'il aura. Chaque type d'information est donc caractérisé par un niveau de confiance, un « indice d'existence », caractérisant la probabilité qu'une source de danger existe réellement sur un site donné, compte tenu de l'information qui a permis de l'identifier. Plus l'indice d'existence est grand, plus l'information est fiable et plus grande sera la crédibilité de la présence d'un ouvrage pouvant générer un accident.

Les travaux réalisés se sont inspirés du domaine de la prévision météorologique avec l'« indice de confiance » développé par Météo France. L'échelle utilisée, allant de 1 (indice le plus bas) à 5 (indice le plus haut) permet une communication facile qui apparaît relativement compréhensible par le public. Cette même échelle a été conservée pour l'indice d'existence que nous proposons. Son sens réel doit néanmoins être précisé (figure 2). Obtenir un indice d'existence de 5 ne signifie pas automatiquement qu'un aléa existe. Cela signifie uniquement que l'expert considère comme le plus crédible la possibilité de présence d'un ouvrage souterrain. Il lui faudra ensuite évaluer la possibilité que ce vide génère ou non

des effets en surface. Cette approche a permis de mieux caractériser la notion de « prédisposition » (probabilité d'occurrence) dans le cadre de la réalisation des études d'aléa des Plans de Prévention des Risques Miniers.

### Poids des incertitudes : priorité aux données d'entrée ou au choix du modèle ?

Les outils permettant d'évaluer le poids de l'incertitude liée aux données d'entrée sur les résultats sont nombreux (études de sensibilité, simulations de Monte-Carlo...). En revanche, peu d'approches permettent d'évaluer le poids de l'incertitude liée au choix du modèle ni de comparer ces deux types d'incertitude.

Nous avons développé une démarche permettant de prendre en compte, non seulement l'incertitude liée aux données d'entrée, mais également l'incertitude liée au choix du modèle. Le principe de notre démarche consiste à intégrer l'ensemble des modèles dans l'analyse. L'étude se retrouve ainsi exemptée du problème du choix du modèle unique et des préférences ou de la subjectivité propres à l'expert. Puisque chaque modèle « approche »

la réalité d'une manière différente, l'intégration au sein de la même analyse de plusieurs modèles peut permettre de tendre plus justement vers la réalité. De manière à réaliser une telle intégration, les modèles sont choisis de manière aléatoire dans le processus d'estimation du risque.

Après traitement analytique, la démarche présente clairement les parts respectives de l'incertitude liée aux données d'entrée, aux paramètres de modèle et au choix du modèle et permet d'identifier les sources principales d'incertitudes sur le résultat.

Dans un contexte où les moyens de diminution de l'incertitude sont souvent limités, cette démarche accompagne l'expert afin de choisir la stratégie pour préciser le résultat de son analyse de la manière la plus efficace. La démarche permet d'identifier la nature des investigations à mettre en œuvre en priorité, ou encore de préciser si les moyens doivent être déployés préférentiellement sur l'investigation de terrain ou sur les développements numériques.

### PERSPECTIVES

D'autres perspectives peuvent être envisagées. La nécessité de la prise en compte de la composante temporelle de l'aléa a été abordée par exemple, mais les premiers modèles proposés souffrent d'un retour d'expérience insuffisant afin d'en améliorer la robustesse. Par ailleurs, les travaux développés se sont surtout concentrés sur le concept de l'aléa et pas sur la notion de risque. Une approche similaire relative à la

### RÉFÉRENCES

- [1] Cauvin M., Prise en compte des incertitudes et calcul de probabilités dans les risques liés au sol et sous-sol. Thèse de doctorat de l'École Nationale Supérieure des Mines de Nancy. Présentée et soutenue publiquement le 20 décembre 2007.
- [2] Cauvin M., Verdel T., Salmon R. Modeling uncertainties in mining pillar stability analysis. Risk Analysis, 2009, vol. 29, n° 10, pp. 1371-1380.
- [3] Cauvin M., Prise en compte des incertitudes et calcul de probabilité dans le domaine des risques liés au sous-sol. Application à la carrière souterraine de Grozon. Actes des 25<sup>es</sup> Rencontres universitaires de génie civil, 23-25 mai 2007, Bordeaux, 8 p.
- [4] Cauvin M., Salmon R., Verdel T. Dealing with uncertainties in the context of post mining hazard evaluation. Proceedings of the symposium post-mining 2008, 6-8 February 2008, Nancy.

caractérisation de la vulnérabilité et des enjeux permettrait de progresser vers une approche intégrée de l'évaluation du risque « mouvement de terrain ».

### EXEMPLE : APPLICATION À L'ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ DE RUINE D'UN PILIER DE MINE

Plusieurs modèles (formules analytiques) permettent d'évaluer la possibilité de ruine d'un pilier de mine. L'application de la démarche montre que 57 % de l'incertitude sur le résultat est portée par la variabilité et la mauvaise connaissance des données d'entrée du problème et 43 % est expliquée par la dispersion des modèles qui ne permettent que d'approcher la réalité. La source principale d'indétermination dans ce problème est liée à la mauvaise connaissance des dimensions géométriques des piliers de mine (responsable de plus du tiers de la variance totale).

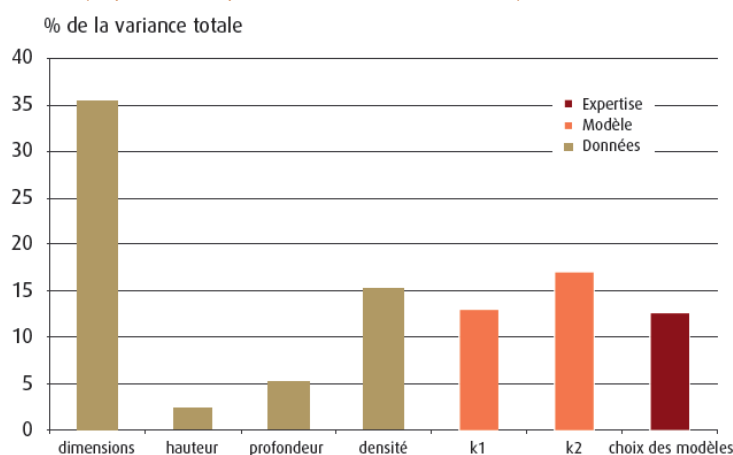


FIGURE 3  
CONTRIBUTION DES DIFFÉRENTES SOURCES D'INCERTITUDE À L'INDÉTERMINATION

### ABSTRACT

Ground movements induced by underground cavities or rock slopes may lead to tragic consequences. Risk management has become a strong demand from concerned population and is one of the priorities of public authorities. Risk management is primarily based on the identification and assessment of hazard: predicting the nature of the phenomena likely to occur, anticipating hazards likely to affect people and infrastructures can be exposed, scheduling the implementation of risk scenarios.

Based on a thesis completed in INERIS by Maxime Cauvin, in partnership with LAEGO ("Taking into account uncertainties and probability calculations in ground and underground risk studies", December 20, 2007), a systemic analysis of uncertainties in risk analysis of ground movement was carried out. It enabled to establish a typology of uncertainties that fits "ground movements" risk analyses specificity.

Moreover, tools were developed in order to fill identified scientific gaps:

- a confidence index to characterize the confidence of the expert in a context of missing input data based on their nature and quality;
- a methodology for comparing the weight of the uncertainty of input data and models on the result. This enables a more effective way of deciding where extra resources should be allocated (on field investigations, numerical modeling enhancements...).