

L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrains : pour une meilleure quantification du risque/ *The evaluation of vulnerability to mass movements : towards a better quantification of landslide risks*

Frédéric Leone, M. Jean-Pierre Asté, M. Eric Leroi

Citer ce document / Cite this document :

Leone Frédéric, Asté Jean-Pierre, Leroi Eric. L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrains : pour une meilleure quantification du risque/ *The evaluation of vulnerability to mass movements : towards a better quantification of landslide risks*.

In: Revue de géographie alpine, tome 84, n°1, 1996. pp. 35-46;

doi : 10.3406/rga.1996.3846

http://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1996_num_84_1_3846

Document généré le 06/06/2016

Résumé

L'Evaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain : pour une meilleure quantification du risque
The evaluation of vulnerability to mass movements : towards a better quantification of landslide risks E
Leone, J.P. Asté, E. Lewi
Résumé : L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain demeure une tâche difficile. Cela tient à la fois de la complexité des phénomènes et du manque de constats d'endommagement. Les auteurs tentent de surmonter ces difficultés en proposant un cadre cohérent de structuration et de quantification partielle du concept lui-même, notamment par le biais de matrices d'endommagement. Les applications possibles de ces matrices sont déterminantes pour améliorer l'appréciation du risque « mouvements de terrain » et juger de son niveau d'acceptabilité.

Abstract

Abstract : Damage caused by mass-movements is complex, as are the phenomena that generate such movements. It is thus difficult to define one or more of the « damage functions », particularly since, unlike in the case of floods and earthquakes, an accurate damage assessment is rarely available. The authors have tried to overcome these difficulties by proposing an explicit framework for structuring and quantifying partially the concept of vulnerability, in particular through the use of damage matrices. The possible application of such matrices is their use to improve the appraisal of landslide risks and to determine the level of of such risks.

L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain : pour une meilleure quantification du risque

Frédéric Leone

Institut de Géographie Alpine. Laboratoire de la Montagne Alpine, LAMA, UPRESA 5038, Université Joseph-Fourier, 17 rue Maurice Gignoux - F 38031 Grenoble cedex

Jean-Pierre Asté

J.P.A. Consultants - F 69300 Caluire. Institut de Géographie Alpine. Laboratoire de la Montagne Alpine, LAMA, UPRESA 5038, Université Joseph-Fourier, 17 rue Maurice Gignoux - F 38031 Grenoble cedex

Eric Leroi

Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 13276 Marseille, France

1. Le concept de vulnérabilité

1.1. DÉFINITION

Il est communément admis que la vulnérabilité est une composante fondamentale de l'appréciation du risque (Varnes, 1984 et Einstein, 1988). Selon une démarche d'évaluation quantitative, elle se définit par le niveau d'endommagement potentiel (compris entre 0 et 1) d'un élément exposé donné, soumis à l'action d'un phénomène pressenti ou déclaré, d'intensité donnée.

Son évaluation pose donc le problème de la connaissance et de la prévision de l'interaction entre phénomène et élément exposé. Cette interaction peut être décrite par des fonctions dites d'endommagement, ou par extension, fonctions de vulnérabilité. Elles permettent de structurer les différentes composantes du concept de vulnérabilité, première étape vers l'évaluation (figure 1).

1.2. LES COMPOSANTES DE LA VULNÉRABILITÉ

On définit trois grandes familles d'éléments exposés susceptibles d'être endommagés. Ce sont, les biens physiques, les personnes et les activités ou fonctions diverses. A chacune correspond une fonction d'endommagement particulière. Il s'agit :

- (1) pour les biens matériels, de la fonction d'endommagement structurel ;
- (2) pour les personnes, de la fonction d'endommagement corporel ;
- (3) pour les activités et fonctions diverses, de la fonction d'endommagement fonctionnel.

Selon (1), la vulnérabilité d'un bien structurel est fonction de l'intensité d'un phénomène donné et de la sensibilité de ce bien (facteurs de résistance physique).

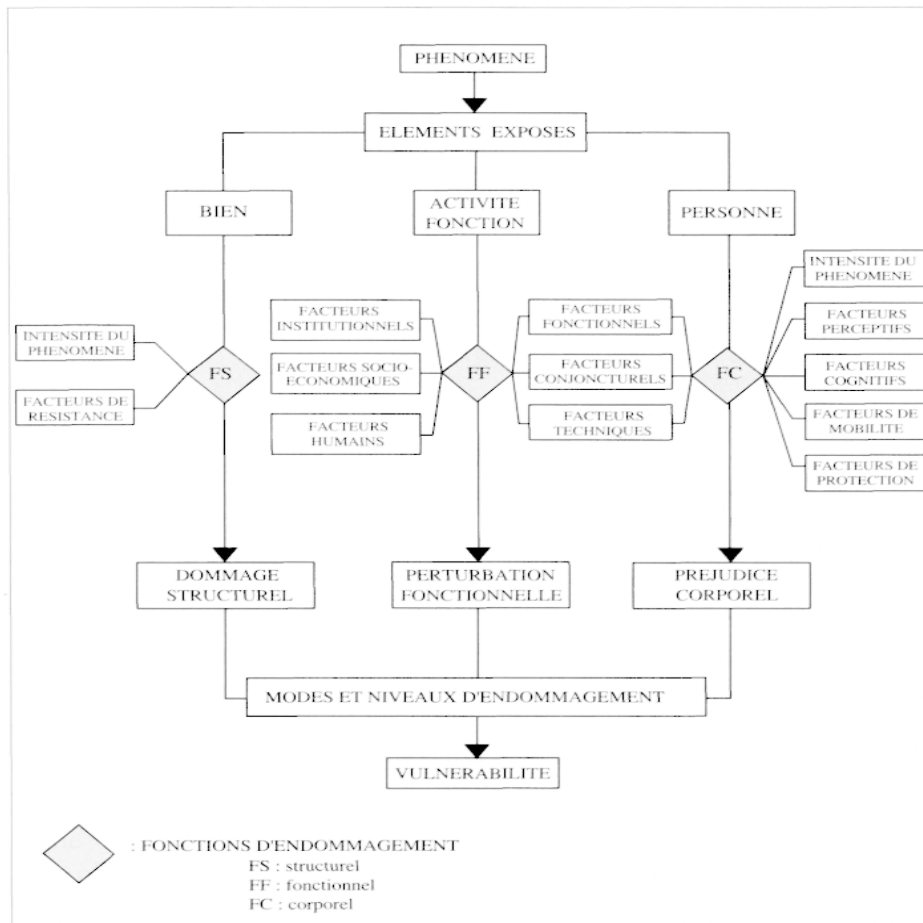


Figure 1
Les composantes de la vulnérabilité

Selon (2), la vulnérabilité d'une personne, est fonction également de l'intensité du phénomène et de facteurs de sensibilité intrinsèques et extrinsèques de cette personne.

– La sensibilité intrinsèque se compose de facteurs perceptifs (niveau de perception du danger), de facteurs cognitifs (connaissance des moyens de s'en protéger) et de facteurs de mobilité (capacité de mobilité face au danger).

– La sensibilité extrinsèque se compose de facteurs de protection physique (apportés par les structures environnantes) et de facteurs conjoncturels, techniques ou fonctionnels (efficacité des mesures et moyens d'alerte, d'évacuation, de secours, de soins, etc.).

Selon (3), la vulnérabilité fonctionnelle dépend du niveau d'endommagement des biens (facteurs techniques), des personnes (facteurs humains) et des fonctions secondaires assurant l'activité en question (facteurs fonctionnels) ainsi que de la capacité de la société sinistrée à restaurer cette activité (facteurs conjoncturels, socio-économiques et institutionnels).

La spécificité des phénomènes de mouvements de terrain se joue essentiellement au niveau des fonctions d'endommagement structurel et corporel. De telles fonctions sont très difficiles à formaliser d'un point de vue analytique, compte tenu de la diversité et complexité à la fois des phénomènes impliqués et des modes d'endommagement associés. Ce constat est d'autant plus vrai avec les mouvements de terrains que ce sont des phénomènes dispersés et qu'il existe trop peu de bilans consolidés de leurs conséquences. Il est par ailleurs difficile de juger différentiellement du comportement des éléments exposés, étant donné que le nombre d'éléments affectés par un phénomène donné reste le plus souvent limité.

Pour pouvoir progresser en matière de pronostics de vulnérabilité, il apparaît donc indispensable de récolter et comparer des données relatives à beaucoup d'événements et compléter progressivement la matrice de correspondance, en terme de mode et niveau d'endommagement, entre types de phénomènes impliqués et types d'éléments exposés. La procédure préconisée pour répondre à ce besoin est celle des analyses en retour d'événements ou catastrophes passés, à l'instar de ce qui se fait déjà depuis de nombreuses années dans le domaine du génie parasismique.

2. L'apport des analyses en retour

2.1. PROTOCOLE DE CONSTAT D'ENDOMMAGEMENT

Conformément aux objectifs recherchés en matière de connaissance et de structuration du concept de vulnérabilité, il a été mis au point un protocole de constat d'endommagement original et reproductible s'appliquant à l'analyse en retour de catastrophes passées de type mouvement de terrain. Il est conçu pour pouvoir être renseigné par étapes successives conformément à la présentation qui en est faite en figure 2.

Il a été en grande partie élaboré et testé sur les catastrophes de la Josefina (Equateur, printemps 1993 ; cf. Leone & Velásquez, à paraître), de la Salle-en-Beaumont (France, janvier 1994) et sur les événements du Diois (France, janvier 1994) (cf. Leone, 1996).

Le résultat en est l'élaboration partielle de matrices d'endommagement, après constitution de typologies adaptées des processus, modes et taux d'endommagement propres aux phénomènes de mouvements de terrain.

2.2. POTENTIEL D'ENDOMMAGEMENT DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Il peut se caractériser par les deux notions suivantes, de processus d'endommagement et d'intensité associée.

Notion de processus d'endommagement

Compte tenu de la diversité, de la complexité et de la variabilité des mécanismes mis en jeu par les mouvements de terrain, il paraît souhaitable de réduire leur classi-

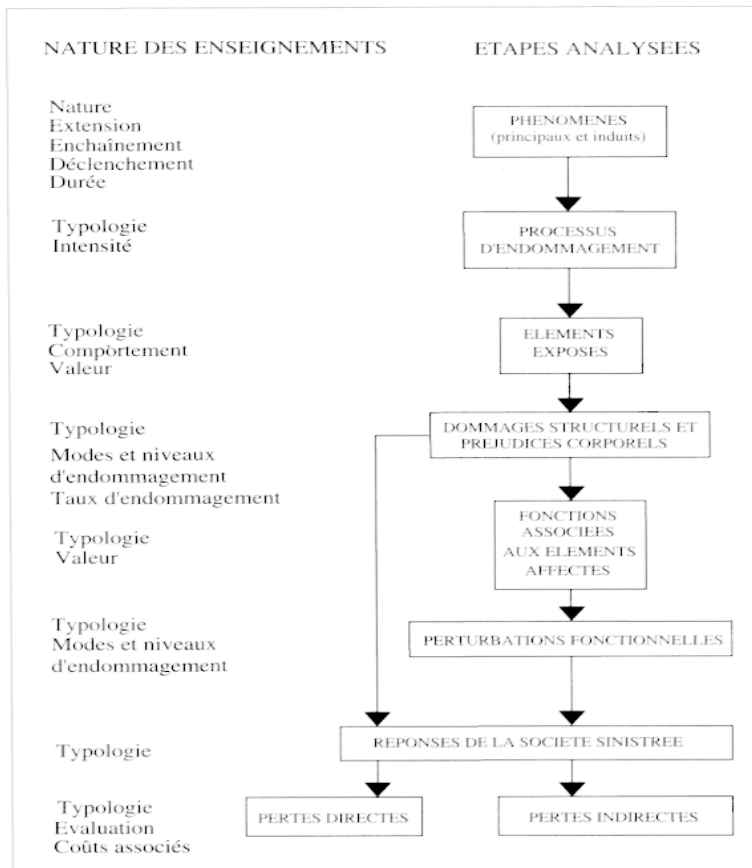


Figure 2
Protocole de constat d'endommagement

fication à une expression plus simple qui soit représentative du processus d'endommagement, ou en d'autres termes de la nature des sollicitations qu'ils exercent sur les éléments exposés.

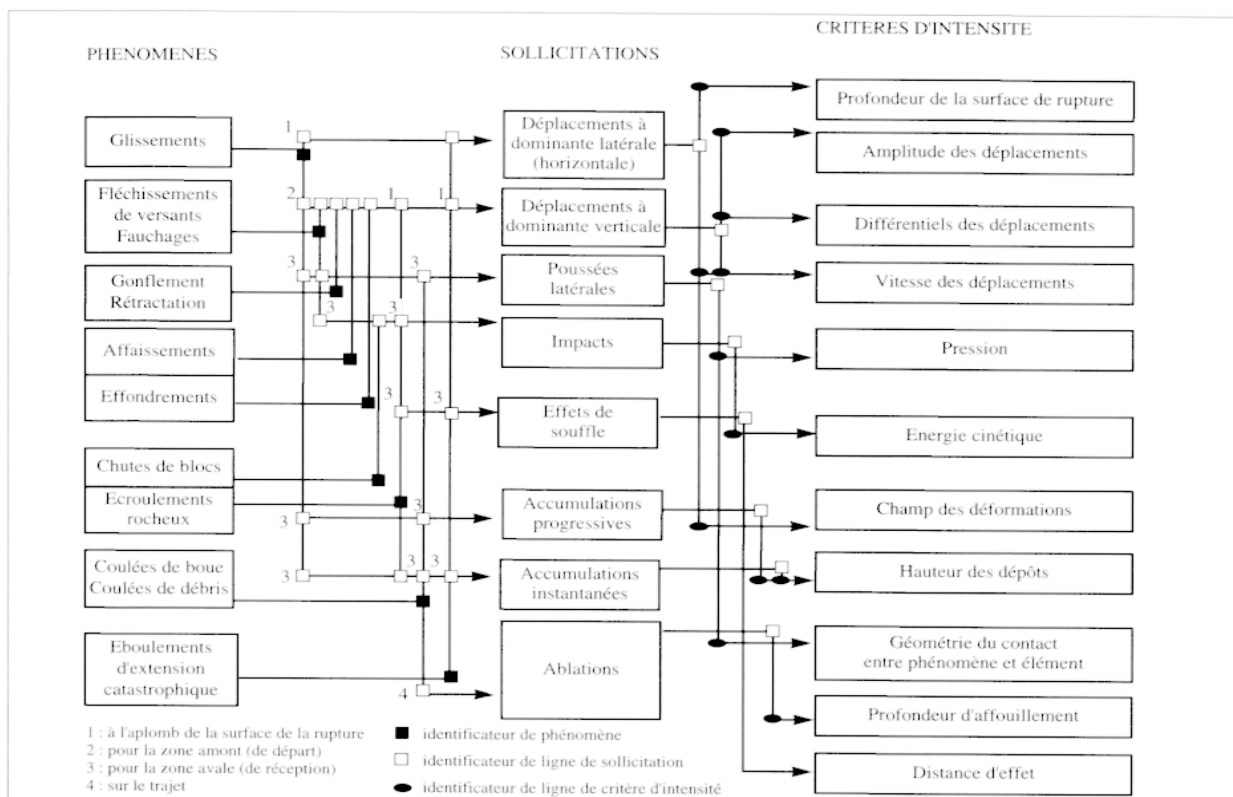
Contrairement à d'autres phénomènes naturels tels que les inondations ou les séismes, les mouvements de terrain se singularisent par différents types de processus d'endommagement. Il s'agit :

- de déplacements et déformations associées ;
- de pressions, résultat d'un impact ou d'une poussée latérale ;
- d'accumulations, résultat d'une propagation ;
- (ou affouillement), résultat d'une érosion.

Ces sollicitations sont de nature mécanique et agissent de façon soit dynamique, soit statique sur les éléments exposés. Plusieurs sollicitations sont souvent associées à un même phénomène, aussi bien dans l'espace que dans le temps et inversement plusieurs phénomènes peuvent se traduire par une même sollicitation (figure 3).

Cette typologie simplifiée des mécanismes des mouvements de terrain permet de distinguer au total huit sous-classes de sollicitations élémentaires caractéristiques du potentiel d'endommagement de ces phénomènes. Cependant, conformément à ce

Figure 3



Solllicitations et critères d'intensité des principaux mouvements de terrain

qui a pu être décrit dans l'analyse en retour de la catastrophe de la Josefina, l'apparition de phénomènes induits liés à l'embâcle de cours d'eau nécessite de considérer parfois, dans toute perspective de prévision du risque, d'autres types de sollicitations, en particulier celles de nature hydraulique.

En cartographie préventive, cette traduction du phénomène en terme de sollicitation(s) associée(s) revêt un intérêt capital car elle sous-entend que l'on s'intéresse à l'extension prévisible du phénomène. On peut ainsi prétendre franchir un pas dans la cartographie du phénomène potentiel en passant de cartes de facteurs de prédisposition à des cartes de sollicitations mécaniques. Cette opération est encore rarement réalisée, du moins en cartographie opérationnelle classique, compte tenu des difficultés propres à la modélisation de la propagation des mouvements de terrain.

Notion d'intensité destructrice

Actuellement, la notion d'intensité demeure très mal définie pour les mouvements de terrain et aucune réflexion méthodologique n'est connue à ce jour sur l'ensemble de ces phénomènes. Or, il semble a priori fondamental de déterminer le niveau d'intensité d'un phénomène potentiel pour pouvoir juger différenciellement du niveau de comportement des structures et des personnes qui y sont exposées.

Contrairement aux intensités des sollicitations sismiques ou hydrauliques qui peuvent être caractérisées seulement par quelques paramètres indépendants (accélération

du sol pour les premières et vitesse d'écoulement, hauteur d'eau et durée de submersion pour les secondes), il en va différemment avec les mouvements de terrain pour lesquels la diversité des sollicitations associées nécessite de considérer un plus grand nombre de paramètres représentatifs de leur pouvoir destructeur. Ceux-ci peuvent être regroupés en trois catégories :

- les paramètres dimensionnels ou géométriques (surface, volume, forme, profondeur, amplitude, distance, hauteur et épaisseur) ;
- les paramètres cinématiques (vitesse, débit, accélération, rythme et champ des déformations) ;
- les autres (viscosité, masse, charge solide, densité).

A la lumière des différentes analyses en retour précitées et d'autres cas d'étude, on a opté pour un choix de 11 de ces critères (figure 3) et défini pour chacun d'eux une échelle de valeurs (non présentée ici). On a par exemple retenu 5 classes de valeur (0,1 ; 1 ; 10 ; 100 et 1 000 kilo-joules) pour le critère « énergie cinétique » qui est représentatif de l'effet d'impact. Les échelles d'intensité des mouvements de terrains ainsi obtenues permettent de quantifier la composante phénoménologique de la vulnérabilité.

2.3. MODES ET NIVEAUX D'ENDOMMAGEMENT DES ÉLÉMENTS EXPOSÉS

Les analyses en retour ont permis de dresser une typologie complète des modes d'endommagement des grandes familles d'éléments exposés (figure 4). Leur quantification repose sur les notions de taux d'endommagement et de valeurs intrinsèques.

ELEMENTS EXPOSES	ID	MODES D'ENDOMMAGEMENT	D
BATI			
RESEAUX			
SURFACES NATURELLES			
SOUS-ELEMENTS			
PERSONNES			
FONCTIONS			

ID : échelle d'intensité des dommages
D : taux de pertes (structurelles, corporelles et fonctionnelles)

I	Domages légers non-structurels (gros oeuvre non-touché). Stabilité non-affectée. Mobilier endommageable	0,01-0,1
II	Fissuration des murs, mais stabilité non-affectée. Réparations non-urgentes.	0,2-0,3
III	Déformations importantes, lézardes largement ouvertes, fissuration des structures. Stabilité affectée. Portes et fenêtres inutilisables. Evacuation nécessaire.	0,4-0,6
IV	Fracturation des structures. Désolidarisation des parties. Effondrement partiel du plancher et brèches dans les murs. L'évacuation s'impose. La réhabilitation semble compromise.	0,7-0,8
V	Effondrement partiel à total qui nécessite une évacuation du site et compromet toute réhabilitation.	0,9-1

Figure 4
Echantillon de la typologie des modes d'endommagement des principaux éléments exposés aux mouvements de terrain. Exemple du bâti

Taux d'endommagement

Chaque mode d'endommagement a été affecté d'un taux compris entre 0 et 1. Ce taux exprime le degré de perte de l'élément affecté. Lorsque les analyses pathologiques ont été suffisamment bien renseignées, il a pu être calculé ou estimé par rapport à la valeur intrinsèque d'origine de l'élément.

Valeurs intrinsèques des éléments exposés

Elles correspondent aux valeurs initiales des éléments exposés, avant endommagement. A chaque élément exposé structurel (bâti, réseaux, surfaces naturelles), on peut attribuer quatre types de valeurs initiales unitaires (tableau 1). Il s'agit :

- de la valeur économique vénale (valeur marchande) ;
- de la valeur économique d'usage ;
- de la valeur fonctionnelle ;
- de la valeur humaine.

Tableau 1

		ÉLÉMENTS EXPOSÉS						
		Bâtiment	Routes			Voie ferrée	Terrains	
			Nationale	Département.	Secondaire		boisés	labourables ou prairies
VALEURS UNITAIRES	VALEUR VENALE	Prix de vente à l'unité 473 KF	Coût de construction au km 9 MF 3,3 MF 1,7 MF			15 MF	Prix de vente à l'hectare 7 KF 20 KF	
	VALEUR D'USAGE						Prix de vente à la production à l'hectare/an 0,5 KF 10 KF	
	VALEUR HUMAINE	Nombre de personnes par bâtiment 3						
	VALEUR FONCTIONNELLE (logement)	Nombre de lits par bâtiment 3						

Exemples de valeurs unitaires retenues pour une application sur la région du Trièves (Isère, France)

2.4. MATRICES D'ENDOMMAGEMENT

Elles permettent de donner les correspondances, en terme de taux d'endommagement, entre éléments exposés et sollicitations apportées par les phénomènes. Elles offrent un cadre cohérent de structuration et de quantification du concept de vulnérabilité sur la base des nouvelles notions précédemment décrites. Leur remplissage n'est que partiel et les taux proposés indicatifs, mais on a bon espoir de les perfectionner au fur et à mesure que le retour d'expérience s'enrichira (figure 5).

		ELEMENTS EXPOSES				
		B	R	SN	SE	P
SOLLICITATIONS	DL	D				
	DV					
	IM					
	PL					
	ES					
	AC					
AB						

B : bâti
 R : réseaux
 SN : surfaces naturelles
 SE : sous-éléments
 P : personnes hors bâti
 D : taux de perte

		Types de bâti			
		B1	B2	B3	B4
Echelles d'intensité de DL	V1	0,3	0,2	0,1	
	V2	0,4	0,3	0,2	
	V3	0,6	0,5	0,4	0,3
	V4	1	0,9	0,8	0,7
	V5	1			

DL : déplacements à composante latérale
 DV : déplacements à composante verticale
 IM : effet d'impact
 PL : poussée latérale
 ES : effet de souffle
 AC : accumulations
 AB : ablations
 V : vitesses latérales

Figure 5
Echantillon de matrice d'endommagement structurel

On peut d'ores et déjà proposer trois types de matrices (structurale, corporelle et fonctionnelle) qui constituent le coeur de la méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité proposée ci-dessous.

3. Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain

L'application future de ces matrices est donc l'évaluation de la vulnérabilité sur un territoire exposé à un ou plusieurs phénomènes de mouvements de terrain.

Le principe de la méthode d'évaluation (figure 6) se définit dans un premier temps par la caractérisation des zones uniformément sollicitées de niveau d'intensité donné.

Ensuite, en fonction de la nature des différents éléments structurels représentés, de leurs valeurs intrinsèques unitaires et des taux de pertes donnés par les matrices, on peut calculer pour chaque zone sollicitée, ou bien pour un ensemble de plusieurs de ces zones, les indices de pertes économiques (directes et indirectes), humaines et fonctionnelles susceptibles d'apparaître en cas de manifestation du phénomène considéré. Les quatre indices obtenus (de 0 à 1) composent la gravité globale des pertes sur le territoire exposé. L'exemple donné en figure 7 montre les surfaces de gravité des pertes communales relatives (par rapport aux enjeux de départ) correspondant à deux scénarios de déclenchement de glissements de terrain sur la région du Trièves (Isère, France).

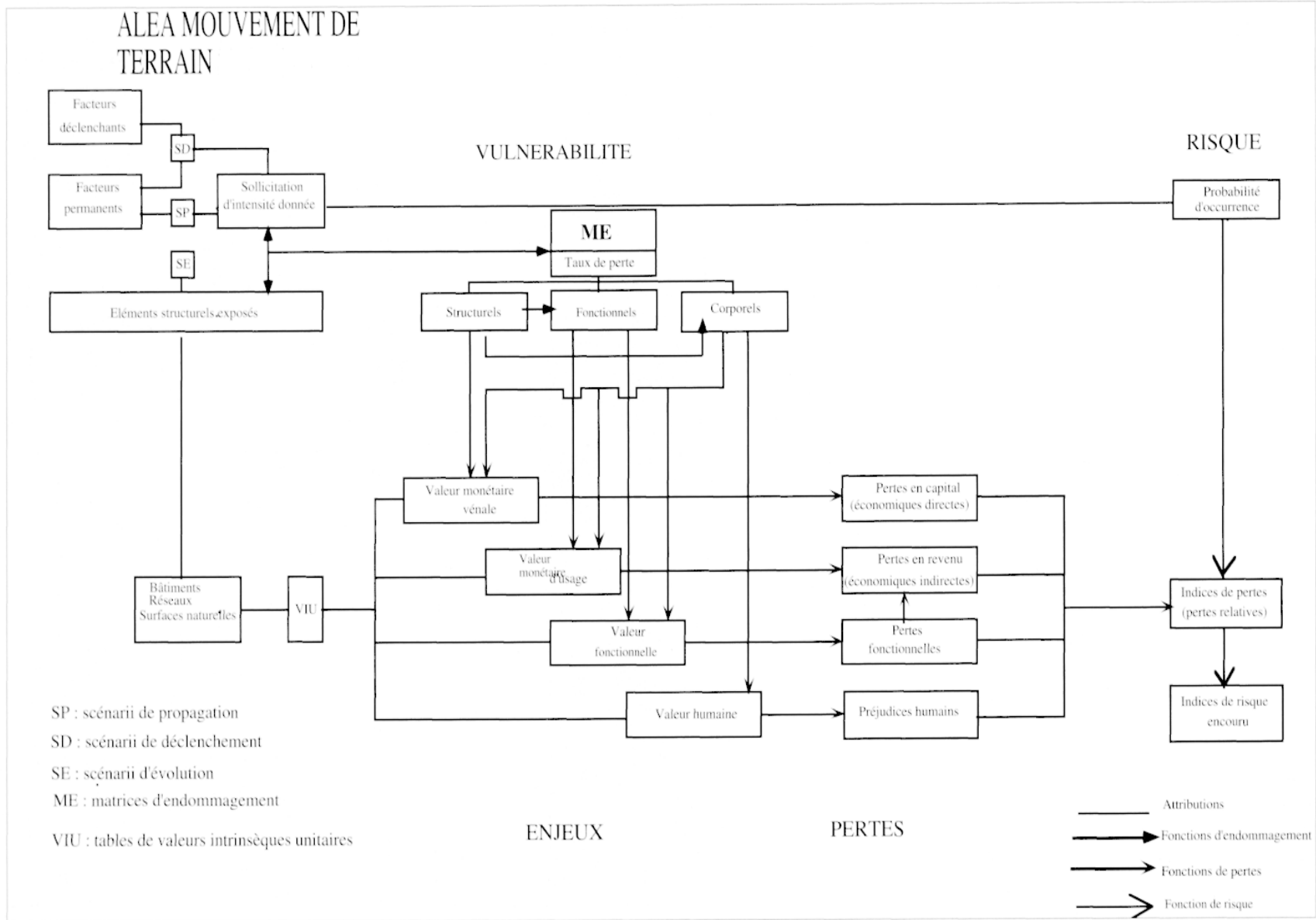
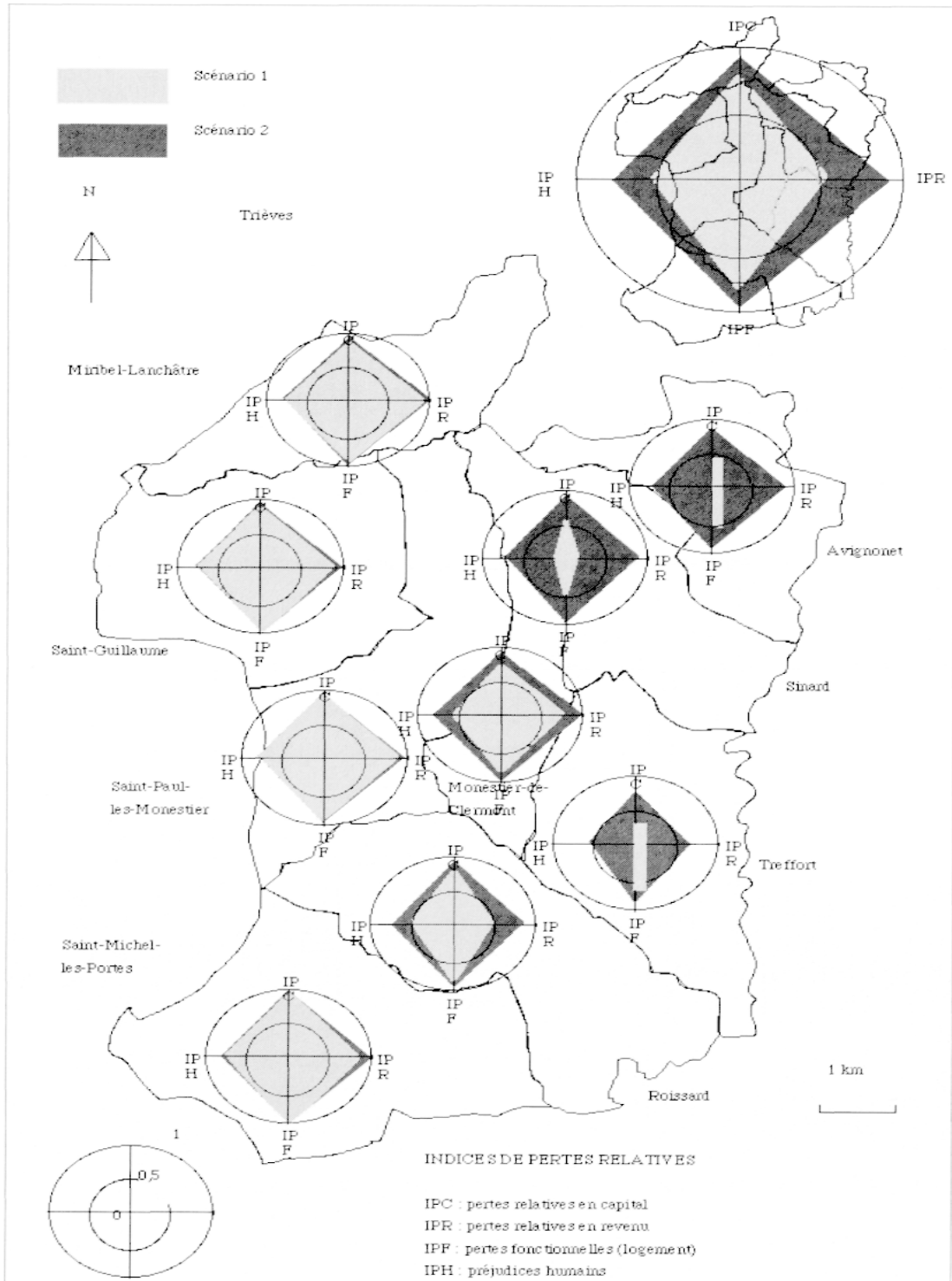


Figure 6 - Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité et du risque associés aux mouvements

Figure 7
Surfaces de gravités des pertes calculées pour deux scénarii de risque mouvement de terrain sur la région du Trièves (France)



Ces indices de perte peuvent être multipliés par les probabilités d'occurrence des sollicitations envisagées pour donner des indices de risques encourus (risque économique, humain et fonctionnel) compris entre 0 et 1.

Ces calculs peuvent être aisément assistés par ordinateur étant donné que cette méthode repose sur un découpage spatial du territoire. A chaque zone sollicitée correspond une série d'attributs (intensités, valeurs, taux, probabilités) qui peuvent tout à fait faire l'objet d'un S.I.G. La représentation cartographique des résultats (des indices) en est d'autant plus facilitée.

4. Conclusion et perspectives

Comme on vient de le voir, l'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain demeure une opération difficile. Cela tient à la fois de la complexité des phénomènes impliqués et du manque de bilans d'analyses en retour d'événements passés. Néanmoins, cet article propose un cadre cohérent de structuration et de quantification de ce concept, sur la base de notions parfois nouvelles ou empruntées au génie parasismique.

Les applications envisagées nécessitent de bâtir des « scénarios de risque » (Velásquez *et al.*, 1995), évolutifs, mais qui reposent malheureusement encore sur trop d'incertitudes. On pense en particulier aux difficultés propres à la caractérisation fine de l'intensité du phénomène, qui dépend notamment de la capacité à modéliser son déclenchement et son extension.

D'un point de vue de la prise de décision, l'évaluation de la vulnérabilité est un élément déterminant de l'appréciation du risque. En proposant des éventails de scénarios de risque (Asté *et al.*, 1994), on peut prétendre arriver à sensibiliser l'opinion publique, notamment les décideurs, en les confrontant à des images virtuelles assorties de bilans chiffrés de ce qui peut les attendre en cas de manifestation des phénomènes redoutés. Ce chiffrage n'est ici pas seulement économique, mais aussi d'ordre humain et fonctionnel. Après évaluation, faute de pouvoir agir directement sur les phénomènes, on peut ainsi tenter d'en réduire les effets prévus et mesurés, en fonction de leur niveau d'acceptabilité.

Références bibliographiques

- ASTE J.-P., DUMOLARD P., LEONE E. & JIN S., 1993. — SIG et risques naturels : le glissement de terrain de Séchilienne (Isère). *Mappemonde*, n°4, pp. 24-25.
- EINSTEIN H.H., 1988. — *Landslide risk assessment procedure*. Special lecture, International symposium on landslides, Lausanne, Vol. 2, pp. 1075-1090.
- LEONE E., VELÁSQUEZ E., à paraître. — Analyse en retour de la catastrophe de la Josefina (Equateur, 1993) : contribution à la connaissance du concept de vulnérabilité appliqué aux mouvements de terrain. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 10 p.
- LEONE E., 1996. — *Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain*. Thèse de doctorat, Université J. F. Fourier, Grenoble et Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Marseille, 286 p.

LEONE F., ASTE J.-P. & VELÁSQUEZ E., 1995. — Contribution des constats d'endommagement au développement d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité appliquée aux phénomènes de mouvements de terrain. *Bull. Assoc. Géogr. Franç.*, 1995-4, pp. 350-371.

VARNES D.J. 1984. — Landslides hazard zonation : A Review of Principles and Practice. *Natural Hazards*, n° 3, UNESCO, 63 p.

VELÁSQUEZ E., ASTE J.-P. & LEONE F. 1995. — Réflexion sur les besoins de communication entre les divers intervenants dans la prévention des risques générés par les mouvements de terrain. *Bull. Assoc. Géogr. Franç.*, 1994-4, pp. 372-384.