

Qualification de l'aléa " mouvement de terrain" dans le cadre des études préalables à la cartographie réglementaire des risques naturels prévisibles

Marcel Toulemont

▶ **To cite this version:**

Marcel Toulemont. Qualification de l'aléa " mouvement de terrain" dans le cadre des études préalables à la cartographie réglementaire des risques naturels prévisibles. 1990, pp.231-249. insu-00503922

HAL Id: insu-00503922
https://insu.hal.science/insu-00503922

Submitted on 19 Jul 2010

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.

Géologie Alpine, Mém. h.s. n°15 - 1990

QUALIFICATION DE L'ALEA "MOUVEMENT DE TERRAIN" DANS LE CADRE DES ETUDES PREALABLES A LA CARTOGRAPHIE REGLEMENTAIRE DES RISQUES NATURELS PREVISIBLES

Par Marcel TOULEMONT*

RESUME. 1. L'évaluation de la phase expérimentale du programme P.E.R. (Plans d'exposition aux risques) fait apparaître un défaut de cohérence dans l'affichage de l'aléa "mouvement de terrain". Les difficultés d'appréciation de l'intensité des phénomènes et l'impossibilité d'une approche fréquentielle de leur occurence en sont les principales causes. Ce constat a incité la délégation aux risques majeurs à recommander, dans le cadre des études préalables à la cartographie réglementaire des risques naturels, à recommander une normalisation des règles et de la procédure de qualification de l'aléa afin de produire des documents homogènes et transparents à l'utilisateur.

2. En ce qui concerne l'évaluation de l'intensité des phénomènes, on propose d'adopter une typologie basée sur la notion de "demande de prévention potentielle". Le recours à cette notion permet de s'affranchir et de l'aspect phénomènologique de l'aléa et des caractéristiques des biens exposés. La demande de prévention exprime en effet l'importance des mesures techniques de nature à stabiliser les mouvements redoutés par réduction des forces agissantes ou amélioration des paramètres de résistance, indépendamment de l'occupation ou de l'utilisation de l'espace.

3. En ce qui concerne l'estimation de l'occurence des évènements, on suggère l'adoption de critères de jugement communs à l'ensemble des opérateurs. On propose, à cet effet, un corps de règles de hiérarchisation et de pondération des facteurs d'influence qui, à défaut d'une analyse de type probabiliste, constituent le fondement de la démarche d'expertise.

I - LA PROBLEMATIQUE DES ETUDES PREALABLES

I.1. - Cadre des études préalables

Définir les priorités en matière d'affichage et aider les services instructeurs à choisir les outils règlementaires les mieux adaptés ; tels sont les buts assignés aux études préalables que la délégation aux risques majeurs entend développer dans le cadre des programmes de cartographie des risques naturels prévisibles (inondations et mouvements de terrain). Cette procédure, qui s'inspire des mêmes principes d'élaboration que ceux des plans d'exposition aux risques (P.E.R.) institués par la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982, doit permettre d'accélérer la couverture du territoire national exposé aux principaux risques localisables et de réduire sensiblement les coûts de réalisation des documents règlementaires. Plusieurs conditions sous-tendent la réussite de la démarche :

* chargé de mission à la délégation aux risques majeurs

- Les études préalables doivent être entreprises à l'échelle de l'unité ou du "bassin" de risque, laquelle correspond, non pas à un découpage administratif, mais à une entité naturelle homogène, géologique, hydrologique ou topographique (bassin versant d'un torrent de montagne, formation géologique sujette à instabilité, ...). Celle-ci peut être pluricommunale, départementale, voire régionale.

- Les études préalables doivent être légères et ne reposer que sur la seule utilisation des informations existantes, à l'exclusion de toute recherche ou investigation spécifiques. Ceci limite pratiquement leur champ d'action à l'appréciation des enjeux. L'approche du risque proprement-dit nécessite le recours à la notion de probabilité d'occurence qui, dans le domaine des mouvements de terrain, est du ressort d'études plus approfondies. Aussi cette notion n'intervient-t-elle, ainsi que le montre l'organigramme du tableau 1, qu'en tant qu'élément d'aide à la décision, au même titre que d'autres critères de choix (niveau de prise en compte des risques dans les documents d'urbanisme, motivation des différents acteurs ...). Il faut d'ailleurs souligner qu'un évènement important doit être pris en compte dans une décision d'urbanisme, même si sa période de retour est de quelques siècles.

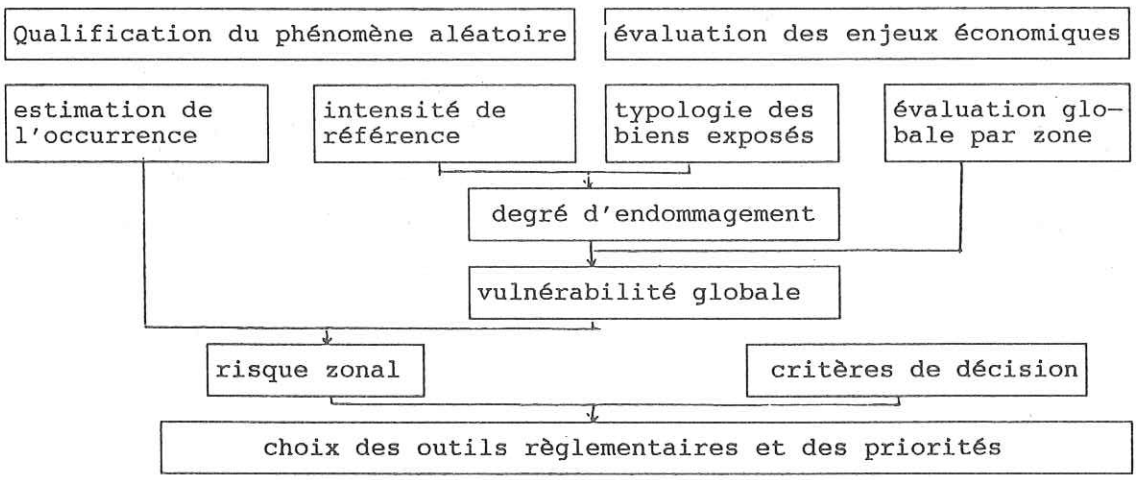


Tableau 1. Organigramme des études préalables des risques naturels prévisibles.

- Elles doivent en outre être transparentes à l'utilisateur - ce qui n'est pas toujours le cas des documents réalisés ces dernières années en matière d'affichage des risques - et cohérentes. Ceci suppose une normalisation du langage et des règles utilisées par les différents opérateurs ainsi que la mise en oeuvre d'une méthodologie adaptée aux caractéristiques spécifiques des objets étudiés.

On se propose dans la présente note de fournir aux services instructeurs et aux opérateurs les éléments d'aide à la qualification de l'aléa mouvement et à l'évaluation des préjudices et dommages potentiels qui peuvent résulter de la réalisation du phénomène aléatoire.

I.2. - Les difficultés d'appréciation de l'aléa "mouvement de terrain"

1 - L'aléa mouvement de terrain peut être défini en un site donné par la probabilité de survenance, au cours d'une période de référence donnée, d'un évènement de nature et d'intensité données (ou dépassant une intensité donnée). Cette définition, commune à l'ensemble des phénomènes étudiés, associe trois composantes plus ou moins indépendantes :

- la spatialité du phénomène c'est-à-dire son extension géographique dans l'espace ou, dans le cas de phénomènes d'extension réduite non cartographiables, l'extension de la zone exposée,

- la probabilité de survenance de l'évènement en une zone donnée pendant la période de référence compatible avec le niveau de sécurité recherché.

- l'importance du phénomène en terme d'agressivité ou de violence. Cette dernière doit être définie de façon à aider à l'évaluation des préjudices ou des dommages potentiels qui peuvent résulter de la réalisation de l'évènement.

2 - L'accessibilité à ces différentes composantes est moins aisée en matière de mouvements de terrain que pour les aléas de type inondation, séisme ou avalanche. Pour ces derniers, en effet, on dispose d'éléments permettant une analyse probabiliste de leur occurence et de leur intensité. En outre, le développement dans l'espace des crues ou des avalanches est conditionnée, d'une façon déterminante, par des facteurs topographiques parfaitement repérables. Enfin, des échelles d'intensité de dommages ou des fonctions d'endommagement liant aléa et caractéristiques des objets exposés existent pour ces phénomènes.

En ce qui concerne les mouvements de terrain, au contraire, la qualification de l'aléa n'est facilitée, ni par la diversité morphologique et génétique des phénomènes mis en jeu, ni par l'impossibilité, sauf cas singuliers d'évènements récurrents, d'une analyse fréquentielle objective de ces phénomènes. Par ailleurs, on ne dispose pas d'une connaissance suffisante des taux d'endommagement résultants. Il n'est pas étonnant, dans ces conditions, que l'évaluation de la phase expérimentale du programme PER (plan d'exposition aux risques) fait apparaître un défaut de cohérence dans l'affichage de l'aléa. Le manque de transparence quasi-général des documents examinés ne permet pas d'en apprécier toutes les causes : dérive d'ordre sémantique, qualité des informations disponibles, part

de subjectivité dans l'interprétation, en fonction des écoles d'opérateurs. Quoi qu'il en soit, les enseignements issus de l'analyse critique de cette phase expérimentale obligent à s'accorder sur le choix et la signification des facteurs à prendre en compte pour identifier et qualifier le phénomène aléatoire et pour en évaluer les conséquences.

II - QUALIFICATION DES PHENOMENES ALEATOIRES

II.1. - Diversité des mouvements de terrain et des paramètres caractéristiques

1 - Contrairement aux autres phénomènes naturels, les mouvements de terrain présentent une grande diversité. Cette diversité est dûe à la multiplicité des mécanismes générateurs - érosion, dissolution, rupture, déformation - eux-mêmes liés à la diverstié des comportements géotechniques des matériaux et des conditions de gisement ; selon la nature des manifestations qui en résultent, la vitesse et le sens des déplacements observés et les caractéristiques géotechniques des matériaux sollicités, on peut distinguer :

- les glissements de terrain
- les affaissements et les effondrements,
- les coulées boueuses et laves torrentielles,
- les éboulements et chutes de blocs,
- les ravinements exceptionnels,
- les phénomènes d'érosion littorale.

On peut y ajouter d'autres formes d'évolution moins fréquentes ou d'une importance plus limitée dans notre pays : gonflement, dessication, fluage, liquéfaction ... Ceux-ci ne doivent pas être négligés s'ils peuvent avoir des conséquences dommageables.

2 - Il est difficile d'exprimer la violence ou l'agressivité de phénomènes aussi divers par les grandeurs physiques habituellement utilisées par les géotechniciens. Sauf à définir autour d'aléas que de types de mouvement. La plupart de celles-ci sont en effet spécifiques de tel ou tel mouvement. Citons, par exemple :

- le volume des matériaux déplacés et leur trajectographie en ce qui concerne les chutes de pierres et de blocs, les éboulements rocheux, les écroulements et glissements catastrophiques.

- Le volume et l'extension de la zone d'épandage pour les coulées de débris, de boue ou de laves,

- La surface des zones affectées par les effondrements

- L'extension, la courbure et les gradients de déplacement de la surface topographique dans le cas des affaissements de type minier ou des tassements de couches compressibles.

- La profondeur des surfaces de cisaillement ou le volume des matériaux déplacés par les phénomènes de type glissement.

Si l'on veut établir une échelle de gravité ou d'intensité représentative, on doit recourir à des critères plus globaux et plus indépendants des caractéristiques géotechniques. On propose de faire appel, à cet effet, à la notion de "demande de prévention potentielle".

II.2. - La "demande de prévention potentielle"

1 - Pour qualifier l'aléa "mouvement de terrain" on peut être tenté de faire référence à la notion d'endommagement, afin de traduire, comme dans le domaine sismique, l'importance des effets dommageables engendrés par l'aléa en terme d'intensité. Mais une telle notion n'est pas intrinsèque à l'aléa, puisqu'elle dépend également des caractéristiques des biens exposés. Afin d'éliminer l'influence de ces derniers, on peut également évaluer l'intensité de l'aléa à partir de ses effets sur un aménagement-test, mais cette méthode semble trop réductrice, eu égard à l'éventail des réponses possibles. On peut, par contre, lui substituer valablement la notion de "demande de prévention potentielle" et hiérarchiser les phénomènes en fonction de l'importance des moyens techniques qu'il serait théoriquement nécessaire à mettre en oeuvre pour en réduire les causes et les stabiliser. Ces moyens visent essentiellement, non pas à conforter les biens endommagés ou à les protéger d'une manière indirecte ou passive mais à stabiliser les mouvements redoutés par réduction des forces agissantes ou amélioration des paramètres de résistance des terrains soumis à instabilité

par drainage, consolidation, injection, clouage, etc..., quelque soit l'occupation ou l'utilisation de l'espace. Il s'agit donc de "parades actives" qui peuvent être considérés comme parfaitement représentatives des phénomènes physiques eux-mêmes et sont donc aptes à les caractériser.

2 - La demande de prévention potentielle constitue une mesure de compensation théorique de "l'offre réelle d'endommagement" qui elle, est véritablement liée à la puissance destructrice des phénomènes. Ce n'est bien entendu pas la seule. Les parades non structurelles visant à éviter ou à réduire les conséquences dommageables de l'évènement représentent un type de réponse à l'offre d'endommagement, mais celui-ci dépend essentiellement des conditions locales : il est donc difficilement utilisable). Sa traduction en coût permet d'en mesurer l'opportunité économique, par comparaison avec l'espérance mathématique des dommages encourus, ou avec leur acceptabilité socio-économique. Dans le cadre du règlement P.E.R., celle-ci correspond à 10 % de la valeur vénale des biens exposés.

Ainsi que le suggèrent P.Y. Bard, J.P. Méneroud, J.L. Durville et P. Mouroux (1987) (*), on peut distinguer plusieurs niveaux d'intensité selon que les mesures de prévention nécessaires peuvent être supportables par l'individu, une collectivité restreinte, ou qu'elles dépassent les capacités techniques et financières de la dite-collectivité (tableau 2).

NIVEAU	INTENSITE	NIVEAU DES MESURES DE PREVENTION POTENTIELLES	EXEMPLES
1	Faible	≤ 10 % de la valeur vénale d'une maison individuelle moyenne [coût ≤ 50.000 F](1)	.Confortation partielle d'1 cave par pilier maçonné purge de blocs instables accessibles.
2	Moyenne	Parade technique financièrement supportable par un groupement restreint de propriétaires (immeuble d'habitation courant ou petit lotissement) [coût ≤ 500.000 F]	.Comblement d'une marnière .Purge de blocs instables ou réalisation d'un piège à blocs .Drainage d'1 zone instable de faible extension ou de faible ampleur
3	Forte	Parades techniques spécifiques hautement qualifiées intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire ou celui d'un immeuble courant et d'un coût financier important	.Stabilisation d'un glissement de terrain de grande ampleur .Comblement de carrière souterraine .Confortement de falaise instable .Défense collective contre l'érosion littorale
4	Majeure	Pas de parade techniquement possible (ou d'un coût insupportable pour la collectivité)	.Glissement ou écroulement catastrophique type "La Clapière" ou "Ruines de Séchilienne"

(1) Par référence à l'article 6, chapitre II, alinéa 3, du décret n°84-328 du 3 mai 1984 relatif à l'élaboration des plans d'exposition aux risques naturels prévisibles.

Tableau 2 - Echelle d'intensité des phénomènes

3 - L'attribution d'un mouvement potentiel à l'une ou l'autre des classes ainsi définies ne devrait pas poser de problèmes insolubles aux services instructeurs. En effet :
- La classification s'appuie sur une échelle pratiquement logarithmique, ce qui atténue dans une certaine mesure les ambiguités possibles
- Elle est basée sur une notion technico-économique, à priori plus accessible aux services que les critères géotechniques qui servent de base aux classifications traditionnelles.
- Enfin, le recours à une telle notion ne peut que faciliter l'aide à la décision en matière d'urbanisation future. Mais pour la prise de décision, comme pour l'évaluation de la vulnérabilité, il convient de prendre en compte la nature des phénomènes en jeu.

4 - La démarche classique des opérateurs repose sur une identification des phénomènes potentiels à partir de caractéristiques géométriques ou géotechniques propres à chaque type de mouvement. Il est donc nécessaire de définir une échelle de correspondance permettant de relier directement les niveaux d'intensité définis à partir de la notion de "demande de prévention potentielle" et les caractéristiques jugées les plus significatives ou les plus facilement accessibles. Le choix de celles-ci et de leurs valeurs-limite n'est pas toujours évident et doit, en tout état de cause, être laissé à la libre appréciation des opérateurs. Le tableau 3 propose néanmoins, et à titre purement indicatif, une grille d'équivalence pour chaque type de phénomène.

III - ESTIMATION DE L'OCCURRENCE DES PHENOMENES

III.1. - La démarche d'expert

1 - En matière d'inondation ou de séisme, il est possible d'estimer les probabilités d'occurrence de l'aléa à partir d'une analyse fréquentielle des évènements passés, dans l'hypothèse où les conditions de renouvellement de ces évènements demeurent invariantes.

Dans le domaine des mouvements de terrain, une telle approche est réservée à quelques phénomènes particuliers, tels que chutes de pierre ou coulées boueuses pour lesquels on dispose d'un nombre suffisant d'épreuves antérieures du phénomène redouté. Mais le plus souvent, ces épreuves sont inexistantes où, si elles existent, sont peu fréquentes et réparties sur un secteur géographique dont l'extension est,

elle-même, soumise à aléa. A une échelle de temps historique, les probabilités de réalisation des phénomènes sont faibles à très faibles. Elles seraient de l'ordre de 1/2 000 à 1/5 000 pour le risque d'effondrement par dissolution en tout point du domaine gypseux du nord de Paris et de 1/10 000 pour les effondrements karstiques de la région d'Orléans. (Elles ne doivent pas être négligées pour autant, surtout s'il s'agit de phénomènes majeurs, très préjudiciables ou dommageables à la collectivité).

2 - La démarche probabiliste est donc pratiquement inapplicable à la plupart des mouvements de terrain. Dès lors, la prévision de l'aléa ne peut être fondée que sur une notion de vraisemblance pour que l'évènement se produise compte tenu des informations accessibles et de l'interprétation qui peut en être faite en l'état des connaissances. La méthode classiquement utilisée par les experts consiste à identifier, à partir de l'analyse pathologique de cas réels, les facteurs favorables au déclenchement des phénomènes redoutés et à fonder l'aléa sur l'existence et l'intensité de ces facteurs. Elle est donc subjective car attachée à l'expérience et au jugement de l'expert. Ce caractère subjectif est incontournable. On peut, néanmoins, essayer d'en limiter les conséquences, au plan de la cohérence des résultats, en adoptant un langage et des règles du jeu communs, même si celles-ci sont arbitraires.

NIVEAU D'INTENSITE	EBOULEMENTS	EFFONDREMENTS	COULEES	AFFAISSEMENT	GLISSEMENT
1	Chute de pierres ou de blocs localisés	Effondrement ponctuel réduit, non évolutif sur karst localisé, marnière ou cave peu profonde	coulée de boue	Tassement par consolidation	Fluage ou glissement pelliculaire
	$V=1.10^2$ m^3	ϕ 2 m	$V=5.10^2$ m^3	Dh = 5 cm	H = 2 m
2	Eboulement par basculement ou glissement banc sur banc	Effondrement ponctuel sur karst ou carrière souterraine restreintes	coulée de boue ou de débris	Tassement par consolidation ou affaissement minier	Glissement localisé
	$V=1.10^4$ m^3	?	$V=1.10^4$ m^3	Dh = 50cm	?
3	Ecroulement en masse	Effondrement sur karst évolutif ou carrière souterraine développée, très dégradés	Coulées de débris laves torrentielles	Affaissement de grande envergure d'origine minière	Glissement de versant
	$V=1.10^6$ m^3	ϕ > 100 m	$V=1.10^6$ m^3	?	H >>50 m
4	Ecroulement ou glissement rocheux catastrophique	Effondrement généralisé et spontané sur plusieurs hectares (mines et carrières)	Laves torrentielles exceptionnelles	Subsidence généralisé (non développé en France)	Glissement catastrophique

Tableau 3 - Correspondance entre intensité et caractéristiques physiques des mouvements de terrain

Légende : V : volume des matériaux mis en jeu (en mètre-cube)
ϕ : diamètre de l'accident en surface (en mètre) - le volume des cavités peut également être utilisé.
H : profondeur supposée de la surface de glissement (en mètre) - on peut également prendre en compte le volume ou la superficie du phénomène .
Dh : amplitude du tassement ou de l'affaissement (en centimètre)

III-2 - Choix et règles de pondération des facteurs prédictifs

1 - arbres de diagnostic

L'aléa mouvement de terrain est le résultat de l'enchainement de plusieurs aléas composants dont le maillon central est l'aléa de déclenchement du mécanisme. Pour chaque type de mouvement, celui-ci peut être décrit par un arbre de diagnostic dont la structure est calquée sur les "arbres de défaillances" utilisés dans la prévision des risques technologiques. L'écriture de ces arbres, dont l'architecture est décrite au tableau 4, et un exemple présenté au tableau 5, permet d'envisager toutes les combinaisons possibles conduisant à l'état critique. Leur structure dichotomique montre que, dans tous les cas, la réalisation de l'aléa résulte, de l'intervention de sollicitations extérieures (les facteurs déclenchants) sur un terrain favorable, que l'on peut caractériser par des facteurs de site. (facteurs de prédisposition).
Si les études préalables permettent d'accéder à l'ensemble de ces facteurs, il est possible de formuler un diagnostic sur l'occurrence de l'aléa, étant entendu qu'un tel diagnostic ne peut résulter que d'une démarche d'expert et ne doit être utilisé qu'en tant qu'élément d'aide à la décision.

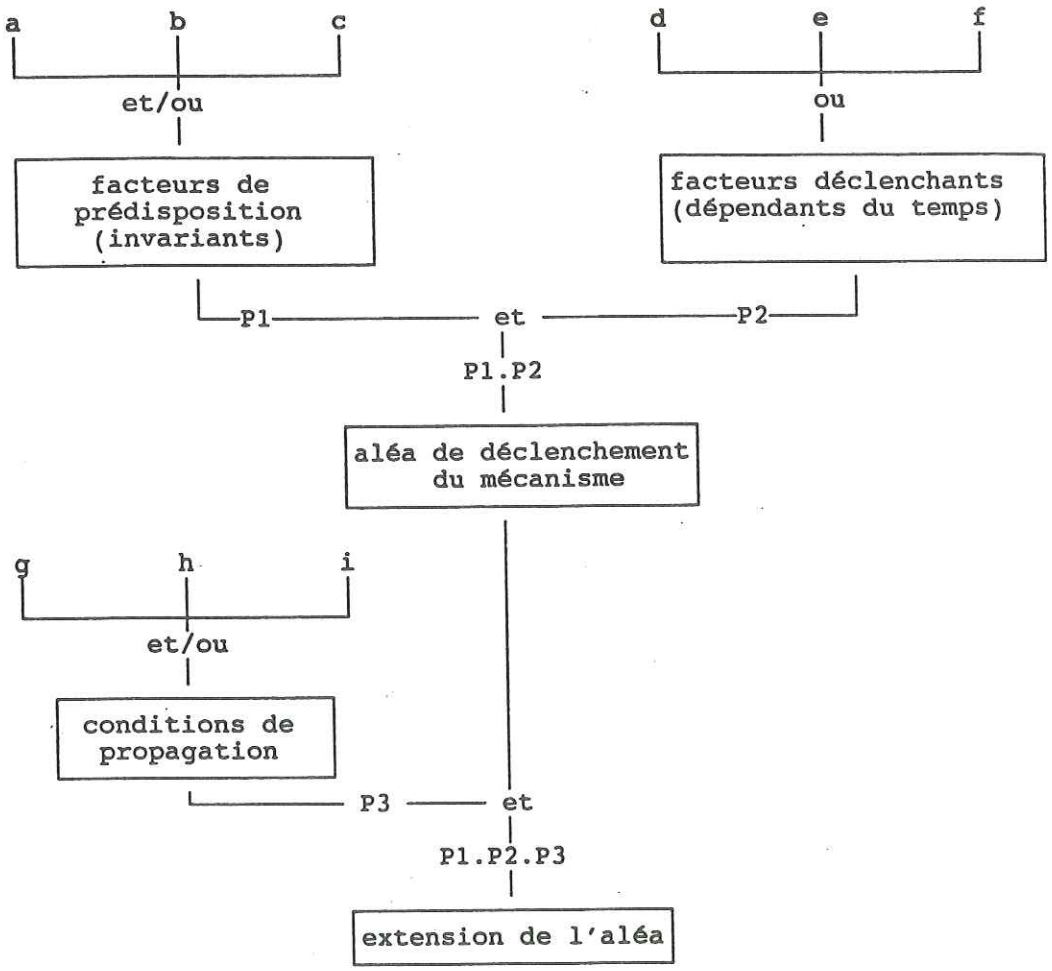


Tableau 4 : Structure d'un arbre de diagnostic

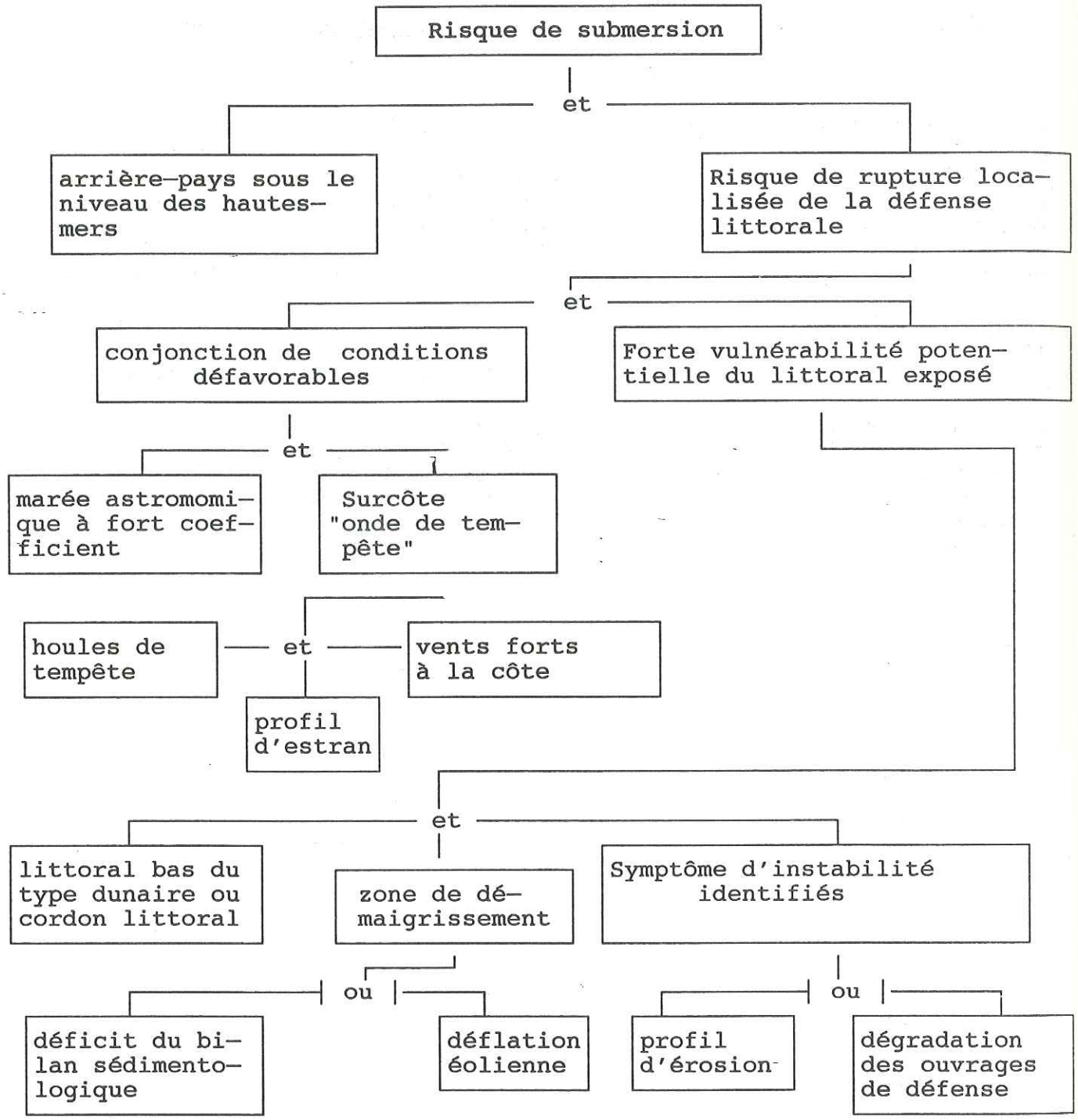


Tableau 5 : Exemple d'arbre de diagnostic : le risque d'érosion littorale majeure et de submersion.

2. Conditions minima d'existence de l'aléa

2.1. - En règle générale, on ne pourra fonder l'appréciation de l'aléa que sur l'existence de facteurs de prédisposition invariants (d'ordre géologique, hydrologique, topographique,...) caractérisant la vulnérabilité du site exposé et de facteurs aggravants liés aux fluctuations du régime des eaux ou à l'utilisation de l'espace. Les facteurs déclenchants proprement dits ne peuvent être appréhendés car ils résultent, le plus souvent, d'une modification fortuite, et imprévisible, des conditions aux limites géométrique ou hydraulique (accroissement de surcharge, changement du régime des eaux, ...) ou des forces de volume (vibrations, secousses sismiques, ...). Ces facteurs ne peuvent donc être retenus à ce niveau d'analyse. On doit cependant accorder une attention particulière aux actions anthropiques qui semblent jouer un rôle déterminant dans le déclenchement ou l'accélération de certains mouvements de terrain et dont l'existence est connue. On peut citer :

- la subsidence des sols dans les zones influencées par l'exploitation des gisements salifères par lessivage (Bassin de Dombasle-sur-Meurthe).

- les effondrements ponctuels au-dessus d'aquifères karstiques calcaires ou gypseux, sollicités par des pompages de longue durée (dissolution des gypses en région parisienne).

- les glissements de terrain favorisés par des changements de pratiques agricoles (remodelage des pentes de la Montagne de Reims par les viticulteurs, transformation en friches agricoles de terrains antérieurement cultivés et drainés, déboisement).

Le choix des facteurs d'influence à prendre en compte doit, en tout état de cause, être adapté aux spécificités géologiques locales et être validé par l'analyse pathologique de cas réels.

2.2. - On considère que l'existence de l'aléa nécessite la conjonction de l'ensemble des facteurs de prédisposition accessibles à l'opérateur (les paramètres physiques nécessitant la réalisation d'essais géotechniques ne peuvent être pris en compte au niveau d'analyse qui doit caractériser les études préalables). Pour un glissement de terrain, par exemple, il ne pourra y avoir d'aléa que si les trois facteurs suivants sont représentés : pente, nature ou structure géologique favorables (couches argileuses, stratification dans le sens de la pente), présence de nappe ou d'écoulements. Pour le phénomène de tassement par consolidation, la seule présence de couches compressibles suffit à déterminer l'existence de l'aléa.

3. La pondération des facteurs de prédisposition

L'influence des facteurs qui favorisent le déclenchement d'un mouvement de terrain est difficile à quantifier, sauf dans quelque cas simples pour lesquels on dispose de modèles de comportement représentatifs et de données géotechniques suffisantes pour envisager

la détermination de coefficients de sécurité. En règle générale et au niveau d'analyse où l'on place, la hiérarchisation de l'aléa résulte d'un jugement global de l'expert, jugement fondé sur une pondération des facteurs d'influence. Comme pour le choix de ceux-ci, dont la conjonction est supposée déterminer l'existence de l'aléa, cette pondération repose sur l'utilisation de règles empiriques dont le degré de fiabilité est fonction des connaissances et de l'expérience de l'expert.
Sauf cas particulier, ces règles sont implicites et non formalisées. Il est par conséquent difficile de faire la part de subjectivité attachée à ce type de raisonnement. On peut craindre de ce fait un manque d'homogénéité entre les interprétations des experts et les conclusions qui en résultent.
Sans vouloir se priver de la richesse de la démarche d'expertise, il faut tout de même admettre que la cohérence des résultats oblige à convenir d'un minimum de règles communes.

3.1. - Le phénomène aléatoire aura d'autant plus de chances de se réaliser que
l'intensité des facteurs d'influence sera forte (valeur de la pente topographique dans le cas du glissement de terrain, compressibilité des terrains dans le cas de tassement par consolidation, etc ...). On accordera, dans cette analyse, un poids particulier, à l'un des facteurs que l'on pourra qualifier de facteur principal (solubilité intrinsèque des matériaux pour le phénomène de dissolution, compressibilité pour le tassement par consolidation, etc...).

3.2. - On considerera qu'un phénomène aléatoire n'a qu'une chance raisonnable de se produire - que l'on pourra conventionellement situer à 0,5 dans une échelle conventionelle graduée de 0 à 1- que si, tous les facteurs de prédisposition étant réunis, des évènements antérieurs se sont effectivement produits dans le site ou l'unité de risque, dans un environnement naturel identique.

3.3. - Dans le cas contraire, et quelle que soit l'intensité des facteurs de
prédispositon, on doit admettre que la réalisation du phénomène aléatoire reste subordonnée à l'intervention de sollicitations exceptionnelles (terrassements, pompages intensifs, séisme violent etc...) ou à des modifications structurelles insensibles mais profondes de l'environnement comme celle résultant, par exemple, de la déprise agricole en zone montagneuse.
En conditions supposées invariantes, l'aléa devra donc être considéré comme faible à très faible (très inférieur à 0,5).

3.4. - La présence de symptômes d'instabilité significatifs et parfaitement
identifiés (moutonnement topographique sur un versant susceptible de glisser par exemple) conduira à attribuer à l'aléa un niveau particulièrement élevé, notamment si ces symptômes sont univoques et confortés par la forte intensité des facteurs d'influence (aléa très supérieur à 0,5).

3.5. - L'identification des facteurs déclenchants d'origine anthropique conduira, dans tous les cas, à une majoration notable du niveau d'aléa

3.6. - Pour un certain nombre de phénomènes, et à l'instar de l'aléa sismique, les probabilités d'occurrence des évènements décroissent en fonction de leur gravité. Pour certains phénomènes d'intensité très forte à majeure, il y a vraisemblablement lieu d'abaisser les niveaux d'aléa, toutes conditions égales par ailleurs.

3.7. - Ces règles peuvent être croisées à l'aide de grilles d'analyse permettant la pondération de l'ensemble des indicateurs utiles et accessibles. Un exemple d'une telle pondération est proposé au tableau 6.

combinaison des facteurs de prédisposition	pas d'antécédents identifiés	Antécédents reconnus dans l'unité de risque			
		zone étudiée hors de la zone de concentration des antécédents	zone étudiée dans la zone de concentration max. des antécédents	symptômes modérés ou d'interprétation douteuse	symptômes aigus et univoques
1 faible intensité de tous les facteurs (ou intensité non évaluée)	<<< 0,5	<< 0,5	< 0,5	0,5	/
2 forte intensité du facteur principal ou de tous les autres facteurs	<< 0,5	< 0,5	0,5	> 0,5	>> 0,5
3 forte intensité de tous les facteurs	/	0,5	> 0,5	>> 0,5	>>> 0,5

Tableau 6 : grille d'analyse de l'occurrence de l'aléa.

Les niveaux d'aléa exprimés dans ce tableau sont purement indicatifs.
Il doivent être adaptés aux circonstance locales (majoration du niveau d'aléa quand le facteur déclenchant est clairement identifié, minoration dans le cas de phénomènes d'intensité très forte à majeure).

0,5 = probabilité égale de réalisation ou de non réalisation du phénomène > 0,5 ou < 0,5 = probabilité moyenne de réalisation ou de non réalisation du phénomène.

>> 0,5 ou << 0,5 = forte probabilité de réalisation ou de non réalisation du phénomène.

>>> 0,5 ou <<< 0,5 = très forte probabilité de réalisation ou de non réalisation

3.8. - Bien entendu, ces règles doivent être validées par l'analyse pathologique d'évènements réels et adaptées au contexte local. Comme les bases de règles de diagnostic d'un système expert, elles présentent l'intérêt de susciter la formalisation de la démarche d'expertise et, corrélativement, de favoriser la transparence des interprétations et la lecture des résultats. Dans la pratique, il faut s'attendre à un développement de corps de règles spécifiques à la plaine et à la montagne.

IV - ALEA ET ENDOMMAGEMENT

La vulnérabilité constitue l'instrument de mesure des conséquences dommageables éventuelles, en cas de réalisation d'un évènement aléatoire. Elle peut être utilement comparée au coût des mesures de prévention, afin d'en vérifier l'opportunité économique. Pour en déterminer la valeur, il est nécessaire :

- d'évaluer les différents éléments physiques et humains soumis à l'aléa,

- de connaître, pour chacun de ces éléments, un niveau d'endommagement (ou de "dangerosité") correspondant à une intensité de référence du phénomène aléatoire.

On peut, de la sorte, apprécier les conséquences de chaque aléa au plan humain, socio-économique et d'intérêt public, et déterminer autant de vulnérabilités composantes dont le cumul, au niveau d'un site ou d'une zone homogène (si l'on accepte de globaliser ces différentes vulnérabilités) représente la vulnérabilité globale de ce site ou de cette zone.

Il faut bien admettre que si les valeurs exposés sont accessibles par des méthodes éprouvées, les niveaux d'endommagement potentiels et de dangerosité sont mal conus dans le domaine des mouvements de terrain. En l'état actuel des connaissances, on ne peut se baser que sur des estimations grossières et empiriques, compte tenu d'une insuffisance notoire des données pathologiques et de l'inexistence de retours d'expérience. Fortement liés aux caractéristiques de l'aléa, ils doivent être déterminés, ou validés, par les géotechniciens-experts.

IV-1 - Vulnérabilité humaine et "dangerosité"

En l'absence de statistiques fiables, la vulnérabilité humaine ne peut être appréciée qu'à partir de la notion de gravité des phénomènes, indépendamment de toute probabilité de morts ou de blessés sur une population exposée donnée.

La gravité des mouvements de terrain peut être graduée en 4 niveaux de gravité dont chacun peut être défini en fonction de l'intensité des phénomènes (tel que précisé aux tableaux 2 et 3) mais aussi en fonction de leur vitesse de propagation et, pour les mouvements rapides, de l'importance des masses mis en jeu (tableau 7). On peut en effet considérer que seuls les mouvements rapides, tels que les éboulements et chutes de blocs, les effondrements instantanés, ponctuels ou généralisés, les coulées et laves torrentielles, les glissements et écroulements rocheux à caractère catastrophique sont préjudiciables au plan humain. Leurs conséquences sont d'autant plus lourdes que les masses déplacées sont importantes. Pour ces phénomènes, les échelles de gravité et d'intensité peuvent être parfaitement corrélées.

Au contraire, les mouvements lents, du type affaissement progressif, glissement, fluage ou ravinement n'induisent généralement aucun risque humain (sauf conséquences secondaires, fortuites ou exceptionnelles), quelque soit leur intensité.

NIVEAU	GRAVITE	PREJUDICES HUMAINS	INT.	NATURE DES MOUVEMENTS
Ho	Très faible	Accident très improbable (sauf conséquence induites)	1 a 4 (a)	-Glissement classique fluage, tassement, subsidence minière, coulées de boue de faible volume
H 1	Moyenne	Accident isolé	1 (b)	-Chute de pierres ou de blocs isolés
H 2	Forte	Quelques victimes	2 (b)	-Chute de blocs (Savoie avr.1986, 4 morts) -Eboulement rocheux en masse -Glissement (Lyon, Juil.1977, 3 morts) -Effondrement ponctue de carrière
H 3	Majeure	Catastrophe majeure (quelques dizaines de victimes)	3 et 4 (b)	-Ecroulement ou glissement catastrophique ≥ 1.106 m3 -Laves torrentielles ou coulées de débris (Plateau d'Assy 1970, 71 morts) -Effondrement généralisé de mine ou carrière (Clamart, 1961, 21 morts)

Tableau 7 : Echelle de gravité des phénomènes (au plan humain)

a - mouvements à dynamique lente
b - mouvements à dynamique rapide

INT - intensité des phénomènes tableaux 2 et 3

IV.2. - Degré d'endommagement : le cas du bâti

Contrairement aux inondations, les mouvements de terrain conduisent à des taux d'endommagement importants (souvent compris entre 50 et 100 %), mais rares sont les données utilisables. La définition de ces taux, indispensable à une évaluation quantitative des enjeux socio-économiques est difficile, en raison du nombre des variables intervenantes et de leur interdépendance. La réaction des constructions exposées résulte en effet de l'intensité des efforts générés par les déplacements imposés du sol, des interactions sol-structure et de la capacité de résistance de cette structure vis-à-vis des efforts qui leur sont transmises. C'est pourquoi la détermination des degrés d'endommagement nécessite la combinaison de trois types de facteurs :

- la typologie des constructions exposées ou la catégorie des zones, estimées homogènes, d'occupation du sol,

- la nature des mouvements,

- l'intensité de ces mouvements.

Le tableau 8 représente un exemple théorique d'évaluation des degrés d'endommagement effectuée sur la base d'une échelle conventionnelle (tableau 9) et d'une typologie inspirée de la classification macrosismique M.S.K. 1964).
Une telle approche est purement spéculative car elle ne repose sur aucune analyse pathologique spécifique. Compte tenu du faible niveau des connaissances disponibles dans ce domaine, il y a nécessité d'entreprendre des études technico-économiques dans lesquelles les experts de l'aléa doivent prendre une part prépondérante, eu égard à leur expérience des cas vécus.

CONCLUSION

Les enseignements de la phase expérimentale du programme P.E.R. (plans d'exposition aux risques) ont conduit la délégation aux risques majeurs à recommander la diversification des procédures de prise en compte des risques naturels prévisibles dans le droit des sols (P.E.R, mais aussi P.I.G. - projet d'intérêt général, "porter à connaissance" dans le cadre des P.O.S. - plan d'occupations des sols et "périmètres de risque" pris en application de l'article R 111-3 du code de l'urbanisme).

Caractéristiques du phénomène aléatoire		Type des constructions exposées (3)				
intensité (1)	nature (2)	A	B	C1	C2	D
1	Ef	5	3-4	2-3	1-2	1
	Gl	5	3-4	2	1-2	1
	Co	2-5	1-3	1-2	1	1
	Af	4	2	1-2	1-2	1
	Eb	4-5	3-5	3-5	2-3	/
2	Ef	5	5	4-5	3-4	1-2
	Gl	5	5	4-5	3-5	1-2
	Co	3-5				
	Af	5	4-5	2-5	2-4	1-2
	Eb	5	5	5	4-5	/
3	Ef	5	5	5	4-5	1-3
	Gl	5	5	5	5	1-3
	Co	5	3-5	1-5	1-5	/
	Af	5	5	2-5	2-5	
	Eb	5	5	5	5	/
4	Ef	5	5	5	5	/
	Gl	5	5	5	5	/
	Co	5	5	5	4-5	/
	Af	/	/	/	/	/
	Eb	5	5	5	5	/

Tableau 8 - Evaluation de l'endommagement moyen engendré par l'aléa mouvement de terrain en fonction des types de constructions exposées et des caractéristiques des mouvements

Légende :
(1) - selon classification du tableau 3
(2) - Ef = effondrement, Gl = glissement, Co = coulée
Af = affaisement, Eb = éboulement
(3) - Typologie des constructions.

- le type A, correspond à des constructions vétustes ou de qualité médiocre, sans fondations et sans liaisons structurelles, le plus souvent construites hors normes traditionnelles (granges, appentis, certaines résidences secondaires). Cette catégorie est étendue aux constructions du type suivant (type B) lorsque celles-ci ont fait l'objet de dégradations structurelles, non consolidées.

- le type B, s'applique à des constructions traditionnelles, en maçonnerie, ou préfabriquées légères, sans ossature armée. Il s'agit généralement d'habitations individuelles ou d'immeubles collectifs non récents.

- le type C, est réservé aux constructions de bonne qualité, réalisées en matériaux traditionnels, en béton ou en composants préfabriqués et pourvues de fondations armées. Pour tenir compte de leur comportement particulier face aux mouvements de terrain, ces constructions ont été elles-mêmes, réparties en deux sous-types :

  - le type C1 correspond à un habitat individuel
  - le type C2 correspond à des immeubles collectifs d'au moins trois niveaux, à ossature en béton armé.

- le type D :
  A ces catégories définies dans l'échelle MSK (1964), il a été rajouté un type supplémentaire, le type D pour tenir compte des constructions ayant fait l'objet, dans leur conception, d'une prise en compte des risques de mouvement de terrain (ce type correspondrait, en matière de séisme aux constructions parasismiques) : fondations spéciales, structures renforcées ...

degré d'endommagement	% de la valeur vénale des constructions (x)	type de dommages
1	quelques %	dommages légers non structurels (gros oeuvre non touché), stabilité non affectée
2	10 - 30	fissuration des murs
3	50 - 60	déformation importante, lézardes largement ouvertes, évacuation nécessaire
4	70 - 90	effondrement partiel de plancher ou brèches dans les murs, désolidarisation des parties évacuation immédiate
5	100	destruction totale - Effondrement de la construction - Pas de réhabilitation possible

(x) % estimé à partir du coût de la remise en état ou de la reconstruction (% de la valeur à neuf).

Tableau 9 - Echelle conventionnelle des degrés d'endommagement (inspirée de l'échelle MSK, 1964).

Le choix de ces procédures et des priorités en matière d'affichage de ces risques est fondé sur la réalisation d'études préalables à l'échelle de l'unité ou du "bassin de risque". Afin d'assurer cohérence et transparence à ces documents, sans nuire à la richesse de la démarche d'expertise utilisée pour accéder à la connaissance des aléas, la délégation propose l'adoption d'un langage et d'un corps de règles communes à l'ensemble des opérateurs et des services instructeurs qui permettent la qualification des phénomènes aléatoires du type "mouvement de terrain".

Après avoir fait l'objet d'une large concertation auprès des principaux "acteurs du risque", les propositions retenues devront être consolidées par des tests de validation représentatifs des principaux contextes à risque qui caractérisent le territoire national. Elles permettront d'élaborer des recommandations applicables tant au niveau des études préalables de l'unité de risque qu'au plan des études d'aléa de la procédure P.E.R.

(*) Microzonage sismique ; application aux plans d'exposition aux risques (P.E.R.)
Bull. liaison P. et Ch. 150/151 - 1987 - Réf. 3177. p.130 - 139.