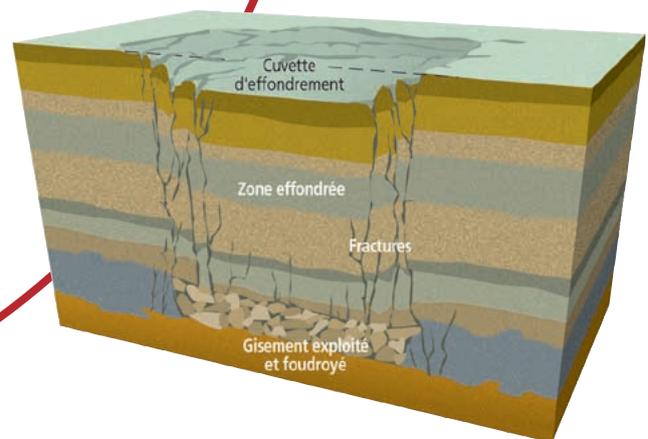


Les PPRN

(plans de prévention des risques naturels)
liés à la présence de

cavités souterraines



GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

Guide méthodologique pour la réalisation de plans de prévention des risques naturels (PPRN) liés à la présence de cavités souterraines

Ce guide a été réalisé, à l'initiative de la sous-direction des Risques majeurs rattachée à la direction de la Prévention, des Pollutions et des Risques (SDPRM/DPPR) du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, par Christophe DIDIER et Jean-Marc WATELET de la direction des Risques du sol et du sous-sol de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS).

La rédaction est basée sur la consultation de documents relatifs aux PPRN, à la réalisation d'enquêtes, la participation à des groupes de pilotage technique et différents colloques et réunions publiques, ainsi qu'à la propre expérience de l'INERIS dans ce domaine. Il a été établi sur la base de données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et en fonction de la réglementation en vigueur.

Les auteurs tiennent également à remercier les différentes personnes qui ont participé au groupe de validation et qui ont contribué, par leur lecture détaillée, leur présence aux diverses réunions et d'une manière générale, par l'apport de leur expérience personnelle, à la sortie de ce document. Ces contacts ont permis d'enrichir le guide pour qu'il soit aussi exhaustif que possible et lisible par tous. Nous citerons notamment Madame Hélène DE SOLÈRE et Messieurs Olivier DAVID, Jérôme DOUCHE, Jean-Louis DURVILLE, François HÉDOU, Christian MATHON, David MATHON, Vincent MELACCA, Fabrice MORONVAL, Louis-Marie MUEL, Christian PIEL.

Table des matières

1. Résumé	5
2. Principes d'élaboration des PPR Cavités	7
2.1 Approche réglementaire	7
2.1.1 Contexte général	
2.1.2 Politique de prévention des risques de mouvements de terrain	
2.1.3 Dispositions spécifiques aux cavités souterraines	
2.2 Procédure d'élaboration	9
3. Description des phénomènes redoutés et des mécanismes d'instabilité	14
3.1 Influence du contexte géologique et des configurations de vides	14
3.2 Affaissement	15
3.3 Effondrement localisé	16
3.4 Effondrement généralisé ou en masse	18
4. Collecte des données	20
4.1 Objectifs fondamentaux	20
4.2 Collecte des informations	20
4.2.1 Approche générale	
4.2.2 Recherche de sources d'informations dans les archives	
4.2.3 Autres sources disponibles	
4.2.4 Collecte des informations lors de reconnaissances sur site	
4.2.5 Carence d'information	
4.3 Restitution	25
4.4 Complications possibles et recommandations	27
5. Évaluation des aléas	28
5.1 Généralités	28
5.1.1 Définition et concepts	
5.1.2 Notion d'aléa de référence	
5.2 Qualification des aléas	29
5.2.1 Principes de qualification	
5.2.2 Qualification de l'intensité	
5.2.2.1 Affaissement	
5.2.2.2 Effondrement localisé	
5.2.2.3 Effondrement en masse	
5.2.2.4 Tableau récapitulatif des classes d'intensité	
5.3 Qualification de la probabilité d'occurrence	31
5.3.1 Principes	

5.3.2 Critères de qualification de probabilité d'occurrence	
5.3.2.1 Affaissement	
5.3.2.2 Effondrement localisé	
5.3.2.3 Effondrement généralisé	
5.4 Détermination des classes d'aléa	35
5.5 Cartographie de l'aléa	35
5.5.1 Principes cartographiques	
5.5.2 Notion de « marges de sécurité »	
5.6 Remarques et recommandations	37
6. Appréciation des enjeux	39
6.1 Identification des types d'enjeux	39
6.1.1 Enjeux existants	
6.1.1.1 Espaces urbanisés	
6.1.1.2 Infrastructures et équipements sensibles	
6.1.1.3 Friches	
6.1.1.4 Autres types d'enjeux et d'activités	
6.1.2 Projets futurs	
6.1.3 Espaces non exposés d'intérêt stratégique	
6.2 Exploitation des données	42
6.3 Cartographie des enjeux	43
7. Démarche réglementaire	45
7.1 Note de présentation	45
7.1.1 Champs obligatoires de la note	
7.1.1.1 Raisons de la prescription du PPRN	
7.1.1.2 Secteur géographique et contexte géologique	
7.1.1.3 Historique et phénomènes connus	
7.1.1.4 Qualification de l'aléa	
7.1.1.5 Qualification des enjeux	
7.1.1.6 Zonage réglementaire et règlement	
7.1.2 Eléments complémentaires	
7.1.3 Insertion des cartes techniques	
7.2 zonage réglementaire	47
7.2.1 Principes généraux de délimitation des zones	
7.2.2 Démarche de zonage	
7.2.3 Eléments pratiques de cartographie	
7.3 Règlement	51
7.3.1 Dispositions générales	
7.3.2 Dispositions applicables aux nouveaux projets	
7.3.2.1 Dispositions relatives à l'Urbanisme	
7.3.2.2 Etudes techniques spécifiques	
7.3.2.3 Dispositions constructives applicables	
7.3.2.4 Recommandations	
7.3.2.5 Projets d'aménagement et d'extension	
7.3.3 Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde	
7.3.3.1 Mesures de Prévention	
7.3.3.2 mesures de protection	
7.3.3.3 Mesures de sauvegarde	
7.3.4 Mesures applicables aux biens existants	



8. Bibliographie 61

Bibliographie de base

Réglementation de base et textes récents

Autres informations

Annexes

1. Contexte général 64

2. Principe et intérêt d'une analyse par configurations types 67

3. Exemple d'application à une configuration 70

4. Globalisation de la démarche et cartographie 71

1 - Résumé

Dans le cadre des risques liés aux cavités souterraines, qu'il s'agisse de vides naturels ou anthropiques, l'État met en œuvre une politique de prévention qui se structure sur :

- la loi n°95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement et instituant notamment les plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN). Ceux-ci permettent de prendre en compte ces risques dans l'aménagement et le développement durable du territoire,
- la loi n°2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages qui introduit des dispositions spécifiques aux cavités souterraines.

Le présent guide propose une méthodologie pour aider à la réalisation des plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN) liés à la présence de cavités d'origine anthropique (carrières, sapes de guerres, troglodytes, souterrains refuges...). Il vient en complément direct de documents techniques spécifiques à cette problématique¹ et de guides méthodologiques plus généraux, précédemment édités sur les PPRN².

Il constitue une aide opérationnelle aux services instructeurs des PPRN et aux organismes et bureaux d'étude en charge de l'analyse de l'aléa.

Le document présente, pour les quatre phases d'études classiquement mises en œuvre dans la réalisation d'un PPR, la méthodologie la mieux adaptée et précise certaines contraintes qu'il y a lieu de prendre en compte pour cet aléa spécifique.

Pour la phase réglementaire, le guide restitue des enseignements tirés des retours d'expérience de l'INERIS, de différents services instructeurs et communes concernés par l'application de règlements de PPRN « cavités souterraines » déjà en application. En mettant à profit aussi bien les préconisations utilisées avec succès que celles ayant engendré des difficultés dans leur mise en œuvre, des propositions sont énoncées pour aider à la rédaction des futurs règlements.

Globalement, il importe de retenir les éléments essentiels suivants :

1. **La phase de collecte de données** peut être établie à partir des cartes de cavités connues mais exige également, au minimum, une campagne d'investigations sur site (en surface et dans les cavités lorsque cela est possible) et la consultation d'archives susceptibles de fournir des informations utiles à la caractérisation des ouvrages souterrains étudiés. Le recensement des anciens désordres ayant affecté le site par le passé permet, en outre, de justifier le bien fondé de la démarche de prévention entreprise et de sensibiliser la population aux risques pressentis.

2. **La phase d'évaluation de l'aléa** transcrit, de manière objective, le potentiel de risque ou de nuisances que les cavités sont susceptibles d'engendrer, à terme, en surface. Elle requiert un niveau d'expertise technique élevé, basé sur la connaissance des différents mécanismes d'instabilité engendrés par les ouvrages souterrains. La méthode d'évaluation proposée s'appuie, en particulier, sur la prédisposition d'un site à développer différents types d'instabilité. Elle doit être expliquée de manière aussi transparente que possible pour faciliter l'adhésion des futurs gestionnaires et des populations concernés.

1 - Évaluation des aléas liés aux cavités souterraines : Guide Technique – Collection environnement les risques naturels du LCPC – ISSN 1151-1516 – 2002.

2 - Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) ; Guide général et Guide méthodologique Risques de mouvements de terrain - La Documentation française.

3. **La phase d'appréciation des enjeux** recense les enjeux existants sur les territoires soumis à un ou plusieurs aléas et identifie les projets qui pourraient s'y développer, qu'il s'agisse de futurs développements d'urbanisme ou d'extension sur l'existant. Pour les biens et activités existants, on s'attache à évaluer la vulnérabilité des populations exposées en recensant les zones urbanisées et les équipements sensibles, mais également les enjeux susceptibles de constituer des facteurs aggravants ou d'engendrer des sur-accidents ;

4. **La phase réglementaire** a pour objectif de délimiter des zones homogènes en termes de prescriptions techniques et réglementaires. Directement relié à ce zonage, un règlement définit de manière claire et opérationnelle, les dispositions qui s'appliquent vis-à-vis de l'usage du sol, tant pour ce qui concerne les projets nouveaux que les biens et activités existants.

Le document final du PPR intègre la rédaction de la note de présentation. Associé aux divers fonds topographiques nécessaires à sa compréhension (cartes informative, d'aléa, d'enjeux et le zonage réglementaire), ce document de référence sert de base aux actions de communication indispensables à l'appropriation et à la valorisation du PPRN par les populations exposées, notamment par l'explication et la justification des mesures réglementaires.

2 - Principe d'élaboration des PPR cavités

L'extraction de matériaux destinés essentiellement à la construction (carrières) et la nécessité qu'a eu l'homme de se protéger sous la terre (sapes de guerre, boves, muches, refuges troglodytiques), ont laissé de nombreux vides, répartis sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Ces cavités, situées pour la plupart à proximité de la surface et parfois totalement inconnues ou oubliées, perturbent inéluctablement les conditions géotechniques régnant préalablement au sein du sous-sol.

Les instabilités engendrées sont alors susceptibles de donner naissance à des risques en surface de nature variée, certains pouvant affecter gravement les personnes et les biens existants sur le site.

La dissolution des terrains relève le plus souvent d'une origine purement géologique et cette problématique n'est pas spécifiquement traitée dans ce document. L'analyse des aléas, liée aux vides et réseaux karstiques, suppose une approche informative différente basée sur des recherches d'indices en surface (réseaux hydrologiques, alignement de failles, présence de gouffres bétoires avens...), sur la cartographie géologique, voire les contacts avec les sociétés spéléologiques.

En revanche, les mécanismes d'évolution et les phénomènes résultants sont très voisins sur l'aspect géotechnique et ces aléas sont souvent associés aux mêmes bassins de risques (par exemple gisement d'évaporites). Ils peuvent donc relever de mesures de prévention identiques.

2.1 - Approche réglementaire

2.1.1 Contexte général

Jusqu'en 1982, les risques de mouvements de terrain ont fait l'objet d'une démarche spécifique avec les cartes informant des zones exposées

aux risques de mouvements du sol et du sous-sol (ZERMOS). Les règles d'urbanisme ont, par ailleurs, intégré des outils de prévention et de gestion de ces risques en recourant aux périmètres de risques au sens de l'article R.111-3 du Code de l'urbanisme, aujourd'hui abrogé.

Des périmètres de risques engendrant des contraintes d'urbanisme peuvent toujours être identifiés, soit au sein des POS (désormais **plan local d'urbanisme** - PLU) ou par l'intermédiaire de la mise en place de **projets d'intérêt général** (PIG), soit ponctuellement par le contrôle des demandes de permis de construire au regard de la sécurité publique (**article R.111-2 du Code de l'urbanisme**).

De plus, l'article **R.123-3 du Code de la construction et de l'habitation** impose « *aux constructeurs et exploitants des établissements recevant du public ... au moment de la construction ... de respecter les mesures de prévention et de sauvegarde propres à assurer la sécurité des personnes* ».

Enfin, en matière de **sécurité publique**, le maire peut agir par le biais de ses pouvoirs de police qu'il détient en application du **Code général des collectivités territoriales**, notamment les articles L.2212-2 et L.2212-4, lui permettant de prendre toute mesure destinée à assurer la sécurité des personnes et des biens exposés à un risque (mesures de péril simple ou de péril imminent).

2.1.2 Politique de prévention des risques de mouvements de terrain

La **loi n°82-600** du 13 juillet 1982 traitant de l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles créa, dans son article 5-1, les plans d'exposition aux risques (PER) dont l'objectif était de synthétiser et d'homogénéiser les diffé-

rents outils de prévention vis-à-vis des risques naturels majeurs. La difficulté de leur élaboration (notamment l'analyse de vulnérabilité) et la lourdeur administrative de leur mise en œuvre ont toutefois occasionné un important retard dans le calendrier prévisionnel de leur élaboration. Face aux catastrophes majeures du début des années quatre-vingt-dix (Vaison-la-Romaine notamment) et compte tenu du fait que les PER n'avaient pas complètement répondu aux attentes du législateur, la relance de la prévention des risques par l'État se manifesta par la création d'un nouvel outil réglementaire, plus opérationnel : le plan de prévention des risques (PPR).

C'est donc la **loi n°95-101** du 2 février 1995, relative au renforcement de la protection de l'environnement (aujourd'hui codifiée par les articles **L.562-1 à L.562-7 au Code de l'Environnement**) qui donna naissance aux PPRN. Les conditions d'élaboration de cet outil ont ensuite été précisées dans le décret n°95-101 du 5 octobre 1995, aujourd'hui codifié par les articles R.562-1 à R.562-10 du Code de l'environnement. Le PPRN constitue un document réglementaire spécifique à la prévention des risques, notamment vis-à-vis des risques de mouvements de terrain. L'affichage du risque relevant d'une compétence dévolue à l'État, la prescription, la réalisation et l'approbation des PPRN sont placées sous la responsabilité du préfet.

L'objectif majeur des PPRN est la prise en compte des risques dans les décisions d'aménagement du territoire et la réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens. Si les PPRN sont généralement prescrits dans des secteurs exposés à des risques importants, la démarche a également pour but d'être entreprise, de manière préventive, dans des zones à enjeux futurs où il convient de limiter l'urbanisme pour éviter une augmentation inconsidérée du niveau de risque. Ainsi, à l'inverse des PER, institués par une loi d'indemnisation et essentiellement tournés vers la notion «d'exposition», les PPRN, tout en continuant à gérer l'existant, se veulent résolument tournés vers l'avenir, dans une optique de «prévention».

Les PPRN délimitent les zones directement ou indirectement exposées, en tenant compte de la nature et de l'intensité du ou des risques encourus. Ils s'attachent ensuite à établir, dans ces zones, des prescriptions relevant notamment des règles d'urbanisme et de construction qui s'appliqueront à la gestion des projets concernant aussi bien des constructions nouvelles que ceux modifiant des biens existants. Ils définissent également des mesures sur les biens et activités existants visant notamment à la réduction de la vulnérabilité

Les PPRN proposent enfin des mesures générales de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises en compte par les particuliers et/ou les collectivités publiques, notamment en ce qui concerne les mesures liées à la sécurité des personnes et à l'organisation des secours.

Les PPRN ont été conçus comme des outils réglementaires puissants et ils constituent des servitudes d'utilité publique. À ce titre, ils doivent être annexés aux PLU et c'est alors la règle la plus contraignante qui s'applique en cas de non-cohérence entre les deux documents. Ils sont également dotés de moyens d'application, à commencer par des sanctions pénales en cas de non-respect des règles définies par le règlement.

Bénéficiant d'un retour d'expérience d'une dizaine d'années pour ce qui concerne le domaine des risques naturels, on peut considérer que les PPRN se sont désormais imposés comme un outil majeur de la politique nationale de prévention des risques. Plus de 6 400 PPRN étaient approuvés au début 2008, ce qui traduit une volonté forte de l'État vis-à-vis de ces outils de prévention.

Le concept et les apports de la démarche sont désormais bien assimilés et relayés par les principaux partenaires concernés par la gestion des risques (administration, collectivités, etc.). L'implication et l'engagement des acteurs locaux dans cette démarche de prévention sont d'ailleurs de toute première importance car l'élaboration des prescriptions réglementaires résulte d'une approche concertée entre les représentants de l'État et les responsables des collectivités locales.

2.1.3 Dispositions spécifiques aux cavités souterraines

Dans le domaine particulier des cavités souterraines, il convient de considérer des dispositions réglementaires particulières, pour certaines bien antérieures aux textes ayant inspiré la politique de prévention des risques majeurs et le recours à la solidarité nationale en cas de catastrophe naturelle.

Ainsi, le **Code civil**, notamment dans ses articles **552, 553 et 1384**, stipule que la propriété du fonds (terrain de surface) emporte la propriété et la responsabilité du tréfonds (massif jusqu'au centre de la terre). Ces notions fondamentales sur le statut de la propriété privée peuvent parfois être amendées par des actes privés (baux, vente séparée du sous-sol, etc.) ou des dispositions spécifiques relatives à l'intérêt stratégique de la nation (régime des concessions établies par le **Code minier**). Il reste que, même si les cavités sont inconnues ou oubliées, l'origine du risque se situe bien souvent au cœur de la propriété exposée.

On doit également retenir les dispositions récentes des lois de 2002 (**loi n° 2002-276** relative à la démocratie de proximité) reprises dans la loi de 2003 (**loi n° 2003-699** du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages, dite «loi Risques») et transcrites à l'article **L.563-6 du Code de l'environnement**.

Ces mesures sont précisées dans les décrets d'application qui viennent conforter les dispositifs d'affichage, d'information et de financement. Le décret 2004-554 du 9 juin 2004, codifié par l'article **R.125-11-III du Code de l'environnement**, impose notamment aux préfets et aux maires de constituer des documents d'information en y associant les personnes en possession d'informations sur la présence de vides. La cartographie des cavités souterraines est en outre élaborée, en tant que de besoin, par les communes ou les groupements de commune sur le fondement de l'article L.563-6 du Code de l'environnement et doit donc y être incluse lorsqu'elle a été réalisée.

L'article L.563-6 du Code de l'environnement oblige aussi toute personne à informer le maire lorsqu'elle a connaissance de l'existence d'une cavité souterraine dont l'effondrement est susceptible de porter atteinte aux personnes ou aux biens ou d'un indice susceptible de révéler cette existence. Le refus de transmettre une copie de document comportant de telles informations est puni par amende (article R.563-10 du Code de l'environnement).

2.2 - Procédure d'élaboration

Le principe général de l'élaboration est décrit dans le schéma de la page suivante.

Chaque phase correspond à une étape technique ou réglementaire qu'il convient d'accompagner par une concertation continue avec les gestionnaires du territoire et les populations exposées.

Association des collectivités et concertation

La loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages a renforcé la participation des collectivités territoriales et du public dans les processus d'élaboration des PPRN.

L'association des collectivités territoriales est expressément prévue à l'article L.562-3 du code de l'environnement. L'implication des collectivités concernées est devenue primordiale, tant pour des raisons d'efficacité que de répartition des compétences et des responsabilités.

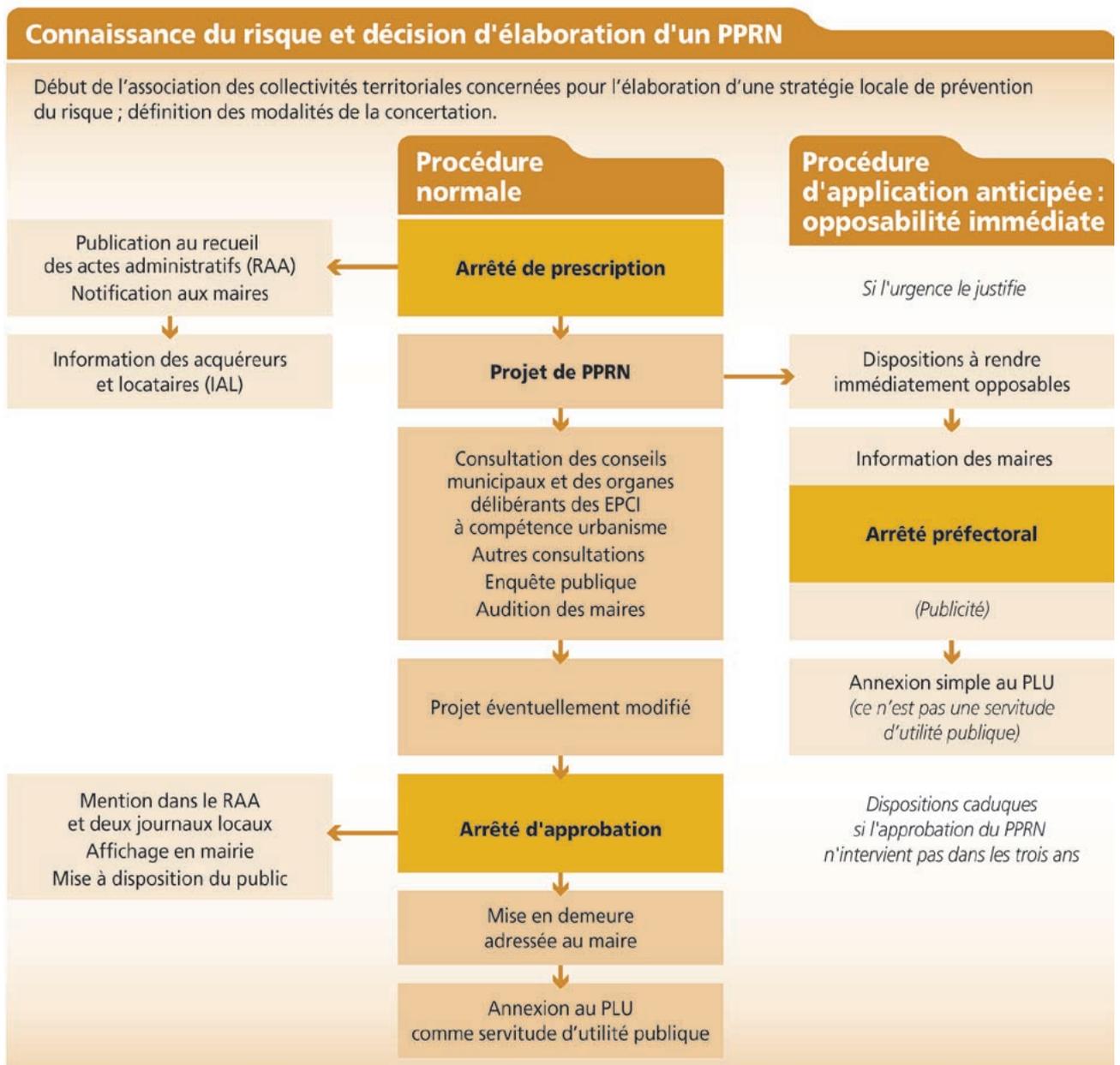
L'ouverture de la concertation aux citoyens, d'autre part, correspond à une demande forte, d'autant plus ressentie comme légitime qu'elle touche à la sécurité de tous. Le même article L.562-3 précise ainsi que le préfet définit, lors de la prescription du PPRN, les modalités de la concertation.

Ces principes impactent fortement les pratiques des services en amont puis tout le long de la démarche d'élaboration du PPRN. Pour faciliter leur mise en œuvre, une circulaire rédigée dans le cadre de réflexions menée avec des représentants

d'élus et de la société civile sous la présidence du ministre en charge de l'Écologie a été adressée aux préfets le 3 juillet 2007.

Il convient également de concevoir la procédure du PPRN comme un projet construit à chaque étape et avant même la prescription, en étroite collaboration avec les collectivités territoriales concernées. C'est avec elles que seront notamment définies, avant l'arrêté de prescription, les modalités de concertation adaptées localement au contexte et aux moyens disponibles.

Dans le cadre du présent guide, il est rappelé que les objectifs poursuivis par l'association des collectivités et la concertation du public sont une meilleure adaptation des outils de prévention au contexte local et la construction d'une culture partagée du risque. Il convient dès lors de ne pas limiter les travaux et réflexions au strict cadre de la procédure PPRN : la construction d'une stratégie locale de prévention du risque en amont de la prescription et la mobilisation de l'ensemble des outils doivent être recherchées.



Procédure réglementaire d'élaboration du PPRN d'après le schéma extrait du guide général

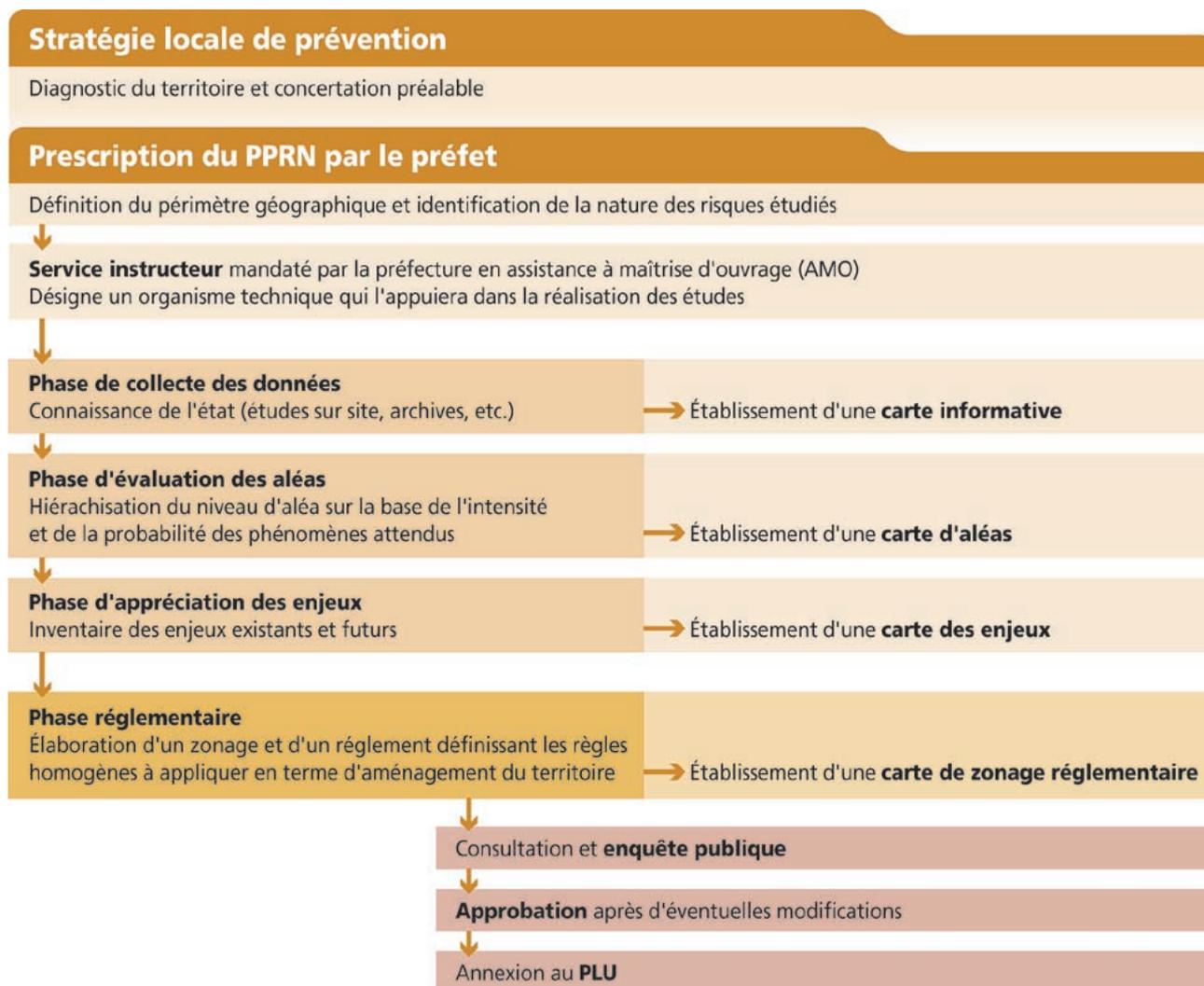


Schéma de l'élaboration des phases techniques d'un PPRN

Au niveau départemental, les commissions départementales des risques naturels majeurs et le cas échéant les schémas de prévention doivent aider à la définition d'une telle stratégie.

La prescription

La décision de prescrire un PPRN doit concerner en priorité les parties du territoire soumises à des risques avérés ou pour lesquelles il existe des enjeux importants. La procédure s'initie par un arrêté de prescription pris par le préfet (art. R.562-1 et 2 du Code de l'environnement) qui précise le périmètre de l'étude ainsi que la nature des risques pris en compte.

Les risques naturels ne se limitant pas aux frontières administratives des communes, on privilégiera l'application de la démarche d'expertise à des unités physiques cohérentes en terme de prédisposition au développement d'instabilités. Ces unités physiques, appelées classiquement « bassins de risque », sont délimitées par des paramètres naturels (géologie, structurale, morphologie, etc.) et d'exploitation (extension des vides connus, indices ou vestiges de travaux, etc.).

Enfin, s'il demeure relativement courant que des PPRN « mouvements de terrain » soient prescrits, par défaut, sur l'ensemble d'un territoire communal, ils peuvent également l'être que sur une sim-

ple partie du territoire de la commune (Roquevaire ou Aix-en-Provence par exemple) ou s'étendre sur plusieurs communes limitrophes (Gironde, Hautil, etc.). Dans ce dernier cas, on doit veiller à limiter le périmètre concerné en s'en tenant à la cohérence du bassin de risque identifié.

Dans son arrêté de prescription, le préfet, maître d'ouvrage, désigne le service déconcentré de l'État, assistance à la maîtrise d'ouvrage, qui sera chargé d'instruire le dossier (couramment appelé « service instructeur »).

Cet arrêté définit également les modalités de concertation relatives à l'élaboration du projet.

Il s'agit de préciser les formes que prendront l'association des collectivités à l'élaboration du projet et la concertation du public :

- constitution de groupe de travail technique et comité de pilotage ;
- organisation des réunions de restitution ;
- modalités de mise à disposition des informations (Internet, posters, panneaux d'affichage en mairies, etc.).

L'élaboration

La réalisation d'un PPRN se décompose classiquement en phases successives qui recouvrent, pour certaines, l'établissement d'un document cartographique.

Le service instructeur s'appuie généralement sur un organisme spécialisé ou un bureau d'études pour réaliser tout ou partie des différentes phases techniques du PPRN mais aussi, éventuellement, pour l'assister dans l'élaboration de la phase réglementaire. Ces phases sont menées en concertation avec l'ensemble des partenaires concernés.

Les pièces réglementaires, donc obligatoires, constitutives du dossier (art. R.562-3 du Code de l'environnement) sont :

- **la note de présentation** qui explique et justifie les choix du zonage et du règlement. Il est fortement conseillé d'y joindre tous documents pouvant présenter un intérêt pour la compréhension de la démarche. On citera, par exemple, la carte

informatrice qui constitue un support essentiel de communication et de concertation à l'attention de la population. De même, la présentation de la cartographie des aléas permet d'explicitier les raisons techniques qui prévalent à l'élaboration du zonage réglementaire. La constitution et la mise à disposition de cette (ces) carte(s) ainsi que de la carte des enjeux permettent d'assurer une cohérence dans la démarche globale d'élaboration du PPRN ;

- **le zonage réglementaire** dont les contours et l'homogénéité des zones dépendent des analyses techniques réalisées précédemment. Il est directement en relation avec le contenu du règlement mis en place ;

- **le règlement** dont la structure générale se construit en fonction des projets nouveaux et des mesures sur l'existant et qui précise en tant que de besoin :

- les mesures d'interdiction et les prescriptions applicables aux projets dans chacune des zones délimitées par les documents graphiques ;
- les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde définies au 3° de l'article L.561-2 qui doivent être prises par les collectivités publiques et celles qui peuvent incomber aux particuliers dans le cadre de leurs compétences ;
- les mesures applicables aux biens et activités existants en précisant celles dont la mise en œuvre est rendue obligatoire ainsi que le délai fixé pour leur réalisation, ce dernier ne pouvant dépasser cinq ans.

D'une manière générale, on veillera à porter une grande attention à la présentation, à la lisibilité et au caractère synthétique des documents cartographiques pour faciliter leur assimilation par la population.

Les consultations et l'enquête publique

Les modalités de la consultation sont encadrées par les articles R.562-1 à R.562-12 du Code de l'environnement.

L'ensemble des conseils municipaux et les organes délibérants des établissements publics de coopération intercommunale (EPCI), lorsqu'ils

ont compétence en matière d'aménagement et d'urbanisme, sur le territoire desquels le plan sera applicable, est sollicité pour avis (art. L.562-3 du code de l'Environnement).

On n'oubliera pas également de consulter en fonction du contexte, le conseil général, le conseil régional, la chambre d'Agriculture et le centre régional de la Propriété foncière. Dans tous les cas, une collaboration avec les différents services de l'État (DIREN, DDAF, DRIRE, etc.) sera utile à la mise au point du projet avant ces consultations. Si ces collectivités ou organismes ne rendent pas d'avis dans un délai de deux mois, ces avis sont réputés favorables.

À l'issue de l'ensemble de ces consultations, le document peut être éventuellement modifié pour tenir compte des avis ou compléments d'informations recueillis.

Le projet de plan est ensuite soumis par le préfet à une enquête publique auprès des populations concernées, menée dans les conditions prévues aux articles L.123-1 et suivants du Code de l'environnement. À l'occasion de cette enquête, le maire est auditionné par le commissaire enquêteur.

L'approbation

À l'issue des différentes consultations, le PPRN, éventuellement modifié, est approuvé par arrêté préfectoral. Après approbation, le PPRN doit être annexé au PLU au plus tard dans les douze mois en tant que servitude d'utilité publique, en application de l'article L.126-1 du Code de l'urbanisme.

L'acte administratif n'est opposable qu'à la date à laquelle est accomplie la dernière formalité de publicité (la publication au Recueil des actes administratifs de l'État dans le département, l'affichage en mairie ou la publication dans un journal local).

Application anticipée

En cas d'urgence, liée à la mise en œuvre de projets de nature à aggraver sensiblement le niveau de risque ou plus généralement en cas de

pression foncière importante, l'article L.562-2 du Code de l'environnement permet de rendre opposable tout ou partie des dispositions d'un projet de plan qui n'aurait pas encore fait l'objet de l'enquête publique.

Les modifications ou révisions

Lorsque les circonstances l'exigent (évolution des facteurs naturels ou de la connaissance du problème, prise en compte de travaux importants de confortement), un PPRN peut être révisé, sur tout ou partie de la surface couverte, selon la même procédure et les mêmes modalités que son élaboration initiale : prescription, élaboration, consultation, approbation.

Toutefois, lorsque le PPRN couvre l'ensemble d'un bassin de risques et que les modifications apportées ne concernent que l'une des communes, voire d'une partie de la commune, l'enquête publique se limite à cette commune, ce qui contribue à simplifier la procédure.

3 - Description des phénomènes redoutés et des mécanismes d'instabilité

3.1 - Influence du contexte géologique et des configurations de vides

Le creusement de cavités, dans une optique d'exploitation d'une substance ou simplement pour disposer de caches, perturbe inéluctablement, et de façon définitive, les conditions régnant préalablement au sein du massif. Ces perturbations sont alors susceptibles de donner naissance à des instabilités en surface.

L'analyse de la stabilité de terrains sous-minés par des cavités doit d'abord s'attacher à identifier la nature des éventuelles instabilités puis à les localiser aussi précisément que possible.

C'est une démarche délicate qui exige une connaissance aussi approfondie que possible des contextes géotechniques et des caractéristiques des vides. De plus, les conditions de stabilité peuvent être remises en cause dans le temps par la fatigue ou le vieillissement du matériau et par diverses modifications de l'environnement des ouvrages souterrains.

Le contexte géologique influe directement sur la configuration et l'extension probable des ouvrages souterrains et donc sur les risques de mouvements de terrain engendrés.

L'approche stratigraphique permet tout d'abord de délimiter globalement l'influence spatiale du problème :

- des cavités situées au sein de couches sédimentaires sub-horizontales constituent une configuration des plus défavorables par l'extension potentielle des vides et donc de la superficie de territoire exposé ;
- dans le cas des gisements pentés, avec une inclinaison de la couche exploitée pouvant varier

de pentages modérés (moins de 20°) à des pentages subverticaux (80° à 90°), les risques principaux pour la sécurité des personnes et des biens se concentrent alors au droit de l'affleurement, sur des extensions généralement plus limitées ;

- pour les gisements en amas ou les exploitations menées au sein de couches épaisses, l'extension en surface des zones sensibles s'avère également plus limitée.

La profondeur du gisement est également importante car elle influe sur la lithologie, l'altération des formations encaissantes, la tectonique, le contexte hydrogéologique ; autant de critères qui se traduisent, d'une part, sur les configurations d'exploitation et, d'autre part, sur l'intensité prévisible des phénomènes en surface.

Le mode d'extraction ou de creusement constitue un autre paramètre fondamental. On peut ainsi être amené à différencier :

- les exploitations où la méthode d'extraction a assuré la disparition intégrale (ou quasi intégrale) des vides souterrains (foudroyage, remblayage, etc.) ;
- les exploitations où la stabilité des vides résiduels est principalement assurée par les piliers laissés en place pour soutenir le toit ;
- les secteurs où les vides résiduels prennent la forme de « chambres vides » (puits bouteilles dans la craie ou le gypse, marnières, chambres vides dans l'ardoise) ou de galeries isolées (souterrains refuges, sapes de guerre, etc.).

Si la première catégorie n'est généralement sensible qu'à des risques d'affaissement ou de tassements résiduels en surface, les autres types de vides sont susceptibles de provoquer des effondrements dont les caractéristiques (extension,



Source : INERIS.



Source : IGC.

Exemples d'exploitations étendues par chambres et piliers. Calcaire lutétien et gypse stampien du Bassin parisien.

soudaineté, profondeur, etc.) dépendent étroitement de la dimension des vides souterrains.

Ainsi, des cavités de faibles dimensions (sapes de guerre, refuges souterrains, etc.) engendrent souvent des phénomènes de moindre extension en surface que celles ayant conduit à la création de vastes vides (exploitations de carrière, etc.) sur de grandes superficies.

3.2 - Affaissement

On parle d'affaissement, au sens large, lorsque le réajustement de la surface se fait de façon souple et progressive, en formant une dépression topographique, sans rupture cassante importante, en cuvette. Ce type de manifestation concerne principalement les exploitations menées à assez forte profondeur et avec des extensions horizontales importantes. Ce phénomène est plus caractéristique des exploitations minières que des carrières souterraines, d'où le nom « d'affaissement minier » qui lui est souvent associé.

Toutefois, dans certaines configurations spécifiques, ce type de désordre peut se développer à l'aplomb d'anciennes carrières sou-

terraines (méthode d'exploitation par affaissement dirigé, exploitations dites « par hagues et bourrages », hauteurs de vide peu importantes au regard de l'épaisseur de recouvrement, cavités partiellement remblayées, etc.).

Généralement, ce ne sont pas tant les affaissements à proprement parler (déplacements verticaux) qui affectent les bâtiments et infrastructures de surface, mais plutôt les déformations du sol (déplacements horizontaux, flexions, etc.). En fonction de leur situation au sein de la cuvette d'affaissement, ces déplacements horizontaux peuvent prendre la forme de raccourcissements (zones en compression vers l'intérieur de la cuvette) ou d'extension (zones en traction vers l'extérieur de la cuvette).

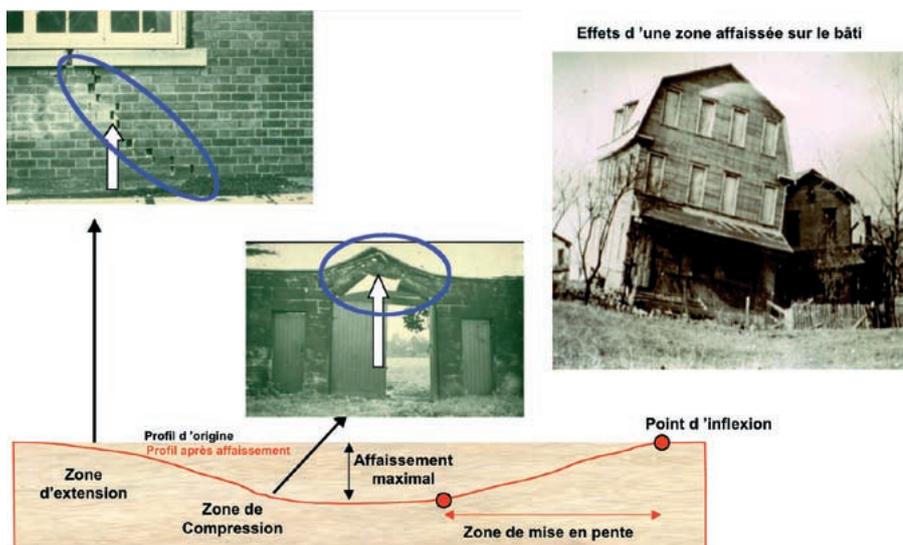


Schéma des conséquences d'un affaissement.

Les dommages résultant dépendent directement du type de fondation, de la longueur des ouvrages qui les subissent (les bâtiments longs sont les plus sensibles), de leur tolérance aux sollicitations (existence de joints de dilatation, matériaux déformables, etc.) ainsi que de la nature du sol en sub-surface (présence de remblais, etc.).

Si des désordres sensibles peuvent affecter le bâti et les infrastructures (notamment les réseaux enterrés) présents dans l'emprise des cavités, les affaissements de surface ne présentent que très exceptionnellement et souvent indirectement un danger pour les personnes.



Source : INERIS.



Source : MEDAD / CETE Rouen.

Exemples d'affaissements en surface - souterrain refuge (Picardie) et marnière (Normandie).

Pour les exploitations assurant un traitement intégral des vides (foudroyage dirigé, hagues et bourrages), la phase paroxysmique des affaissements intervient durant l'extraction. Les déformations induites durant la phase post-exploitation étant, en général, limitées, les conséquences induites sur la stabilité des infrastructures de surface peuvent être considérées comme négligeables pour ce qui concerne « l'après-exploitation ».

Cependant, même en excluant la présence de vides résiduels liés à un « raté de foudroyage », ces zones en surface doivent encore être considérées comme sensibles vis-à-vis de la stabilité du sol et justifier des précautions particulières en cas d'aménagement.

3.3 - Effondrement localisé

Le phénomène d'effondrement localisé se manifeste classiquement par l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont l'extension en surface varie de moins d'un mètre de diamètre à quelques dizaines de mètres au maximum.

Ce type de phénomène peut avoir pour origine plusieurs mécanismes de rupture se développant seuls ou de manière concomitante.

L'effondrement localisé par débouillage de puits

Un ancien puits d'accès, mal remblayé (à l'aide de matériaux qui peuvent avoir été remobilisés en présence d'eau par exemple) peut « débouiller », c'est-à-dire voir son remblai s'écouler dans les ouvrages souterrains auquel il est raccordé.

Ce débouillage peut engendrer une rupture du revêtement du puits et un effondrement des terrains peu compétents environnants, comme le sont généralement les terrains superficiels. Il se produit alors un désordre dont les dimensions dépendent des caractéristiques géologiques et mécaniques locales des terrains et de l'ouvrage.

De fait, le diamètre prévisible du cratère variera également de quelques mètres (écoulement des remblais sans rupture des terrains encaissants) à plus d'une dizaine de mètres (présence d'une couche importante de terrains déconsolidés en surface). L'effondrement de la surface peut également résulter de la rupture de l'ouvrage réalisé en tête de puits (platelage en bois, dalle de surface, bouchon mal dimensionné, etc.). Dans ce cas, l'effondrement se circonscrit généralement au seul diamètre de puits, la rupture des terrains environnants n'étant qu'exceptionnelle.



Source : INERIS.



Source : CETE.

Exemples d'effondrement localisé lié à la rupture d'un puits d'accès de marnière : Oise - Sarthe.

Le phénomène de fontis par rupture de toit (ou ciel) de galerie

On parle souvent de **fontis** lorsque l'instabilité qui affecte la surface résulte de la remontée en surface d'un éboulement initié au « toit » d'une cavité. Lorsque la voûte initiée par la rupture du premier banc rocheux ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface.

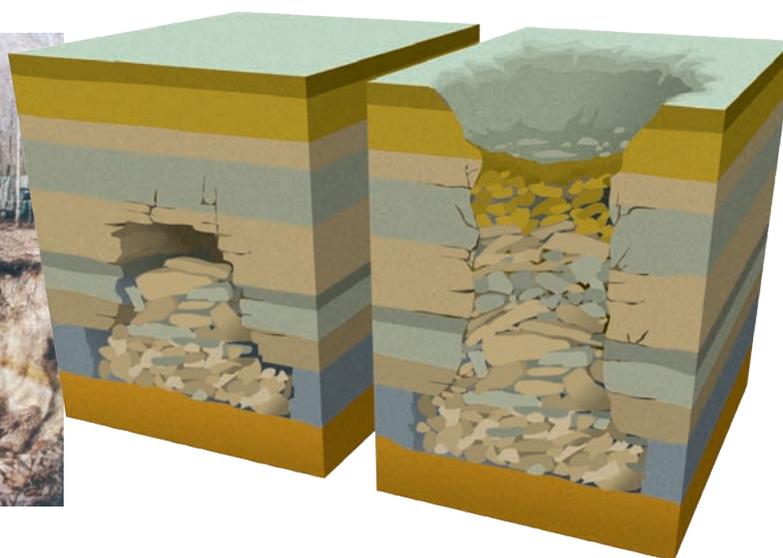
Si l'espace disponible au sein des vides sous-jacents est suffisant pour que les matériaux éboulés foisonnés puissent s'y accumuler sans bloquer le phénomène par « auto-comblement », la voûte peut atteindre la surface du sol. Il se forme alors un cratère dont les parois peuvent être sub-verticales ou, au contraire, pentues selon la nature des terrains superficiels. En fonction de la nature géologique du recouvrement, la manifestation en surface peut se restreindre à un cratère de petite taille (deux ou trois mètres de diamètre au maximum) ou générer des désordres importants (diamètre dépassant une vingtaine de mètres).

Alors que la progression de la montée de voûte au travers des terrains de couverture est un processus généralement lent, l'apparition du cratère en surface est brutale et peut présenter des conséquences graves pour les personnes et les biens situés dans son emprise.

S'il est illusoire et même dangereux de définir une valeur unique et universelle d'épaisseur de recouvrement au-delà de laquelle les fontis ne se propagent plus jusqu'en surface (cette valeur dépend étroitement du contexte géologique et des dimensions des travaux souterrains), les retours d'expérience menés sur plusieurs bassins de risques ont montré qu'en deçà d'une cinquantaine de mètres, l'apparition de fontis ne pouvait être catégoriquement exclue, sans analyse préalable.



Exemple de fontis. Mécanisme et conséquences dans le gypse de l'Ouest parisien.



L'effondrement localisé par rupture de pilier(s) isolé(s)

Au sein d'une exploitation menée par la méthode des piliers abandonnés, la ruine d'un (ou de plusieurs) pilier(s) peut se traduire par un effondrement de la surface.

La dimension du cratère est généralement plus importante. Comme les fontis, les ruptures de piliers isolés sont des phénomènes ponctuels qui ne relèvent pas d'une instabilité globale de l'exploitation mais résultent plutôt de la ruine localisée.

Ces conditions défavorables peuvent trouver leur origine dans la méthode d'exploitation ayant conduit, à des extractions trop intensives laissant des piliers sous-dimensionnés et fragilisés ou à la présence de plusieurs niveaux d'exploitation mal superposés. Elles peuvent aussi résulter de paramètres géologiques défavorables (zones fracturées ou faillées, venues d'eau, etc.).



Source : INERIS.



Source : SDISS Roquevaire.

Exemples d'effondrement localisé lié à la rupture de piliers - Tuffeau du Maine et Loire et gypse en Provence.

3.4 - Effondrement généralisé ou en masse

Les effondrements en masse, également appelés effondrements généralisés, ne se développent qu'au sein d'exploitations présentant une extension latérale importante. De tels phénomènes supposent l'existence d'une zone d'exploitation avec des taux de défrusement (rapport de la surface des vides à la surface totale) élevés, des volumes de vides importants et des configurations d'exploitation fragiles (piliers sous-dimensionnés, élancement important, etc.).

Ils correspondent à l'origine à une ruine générale des piliers, associée à la rupture concomitante des terrains de recouvrement et se développent fréquemment sous des recouvrements présentant un (ou des) horizon(s) raide(s), capable(s) de reprendre, temporairement, tout ou partie du poids des terrains de recouvrement (et ainsi autoriser la constitution de piliers sous-dimensionnés).



Source : Internet.



Source : INERIS.

Exemples d'effondrement en masse - Craie à Clamart 1961 - Calcaire lutétien dans l'Oise 1995.



Source : INERIS.

Les conséquences en surface peuvent, en outre modifier les écoulements d'eau superficiels, perdurer longtemps et affecter durablement l'aménagement des terrains de surface.



photo INERIS

Source : INERIS.



Source : INERIS.

Cassures en bordure d'effondrement et glissement associé en amont d'une zone effondrée.



Source : INERIS.

Lorsque ces bancs plus résistants finissent par se rompre, ils entraînent le report brutal de l'ensemble du poids du recouvrement sur les piliers sous-jacents qui, incapables de résister à la charge, se rompent alors en chaîne.

Pour des profondeurs d'exploitation relativement faibles comme c'est le cas de la très grande majorité des carrières souterraines, ces phénomènes, heureusement exceptionnels, présentent des conséquences très dommageables pour les personnes et les biens situés dans leur emprise car la répercussion du désordre en surface se fait généralement de manière brutale.

Des cassures et crevasses apparaissent à la surface, sur le pourtour de la zone effondrée et, lorsque les terrains sont en pente, ils peuvent provoquer des glissements associés et affecter des zones situées nettement en dehors de l'emprise des secteurs sous-cavés.



Source : INERIS.



Source : INERIS.

Vues des conséquences en surface d'un effondrement en masse, juste après l'événement (été 1990) et fin 2006.

4 - Collecte des données

Cette phase de recherche de données, parfois également appelée « phase informative » d'un PPRN a pour premier objectif de collecter l'ensemble des informations disponibles. Elle exige une consultation attentive des archives d'exploitation et/ou de tout document susceptible de fournir des informations utiles à la caractérisation du contexte des ouvrages étudiés (géologie, hydrogéologie, méthodes d'exploitation, etc.) et une campagne d'observations de terrain.

Le recensement des anciens désordres ayant affecté le site par le passé permet, de justifier le bien fondé de la démarche entreprise. Cette phase de l'étude a ainsi pour vocation d'informer et de sensibiliser la population aux risques et nuisances pressentis.

4.1 - Objectifs fondamentaux

Les PPRN mouvements de terrain liés à la présence de cavités souterraines concernent généralement :

- soit des exploitations très anciennes, souvent totalement oubliées, dont l'exploitant est inconnu et/ou a disparu et à propos desquelles les données sont très parcellaires et difficiles à collecter ;
- soit des cavités d'extension limitée à usage spécifique (caves, refuges, sapes de guerre...) et de ce fait rarement répertoriées par l'administration.

L'élaboration et la restitution de la phase informative d'un PPRN constituent l'assise de la démarche d'analyse et de prévention des risques. Une reconnaissance aussi approfondie que possible du site permet ensuite d'affiner l'analyse et garantit la crédibilité de l'expert et de son jugement vis-à-vis des parties concernées.

Cette phase de découverte et sa restitution graphique ont pour principales fonctions :

- de justifier la démarche de prévention entreprise en recensant tous les désordres actuels ou anciens ayant été identifiés sur le périmètre d'étude. Ceci est particulièrement vrai lorsque la totalité (ou quasi-totalité) de ces désordres est relativement ancienne et oubliée de la population locale ;
- de rechercher, trier, ordonnancer et synthétiser l'ensemble des informations qui s'avèreront utiles à la démarche d'identification et de hiérarchisation des aléas.

Il est important de faire ressortir les éléments inconnus ou douteux (indications évasives sur plans d'exploitation, indices non validés en surface, etc.) et de présenter les imperfections possibles du fond topographique utilisé (en particulier en cas de recalage de plans d'échelle et d'origine différentes).

Toutes ces informations serviront en effet de données d'entrée à la méthode d'identification des aléas.

4.2 - Collecte des informations

4.2.1 Approche générale

Pour l'analyse informative des risques liés aux cavités souterraines, il convient, en premier lieu, de s'appuyer sur les inventaires existants et notamment sur le dossier départemental sur les risques majeurs (DDRM) établi par le préfet et le document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM) réalisé à l'échelon de la commune.

En tout état de cause, les communes ou les groupements de commune concernés, doivent maintenant disposer, en vertu de l'article L.563-6 du Code de l'environnement, d'une cartographie des cavités souterraines établie en y associant toutes les personnes susceptibles d'être en

possession d'informations sur la présence de vides. Cet article oblige les personnes possédant des informations sur les cavités souterraines à la communiquer au maire. Toutefois, l'expérience montre que, lorsqu'ils existent, ces documents sont loin d'être complets et ne permettent pas de réaliser en l'état, une hiérarchisation de l'aléa et un zonage précis du risque.

La consultation de l'inventaire national des cavités permet de recueillir en première approche des informations relatives à la présence de cavités connues (base disponible sur internet : www.bdcavite.net). De la même façon, la base Bdmvt (www.bdmvt.net) mémorise les événements récents et passés relatifs aux mouvements de terrain dont, bien entendu, les effondrements.

Dans les départements et communes où des services spécialisés dans la gestion des anciennes carrières existent, il va de soi que cette source doit être jugée comme prioritaire, avant même les deux précédentes. On citera notamment, sans prétention d'exhaustivité, les inspections générales des Carrières de Paris et de Versailles, le service départemental d'Inspection des carrières souterraines du Nord, celui de Gironde, le service DRT du conseil général du Maine-et-Loire, le syndicat intercommunal Cavités 37, les services municipaux des Carrières de Laon ou de Caen, etc.

Les dossiers d'arrêtés « catastrophes naturelles » sont également des sources précieuses de renseignement (tant sur l'aspect spatial de l'événement que sur la connaissance du phénomène redouté) et sont consultables auprès des services interministériels de Défense et de la Protection civile (SIDPC) de la préfecture.

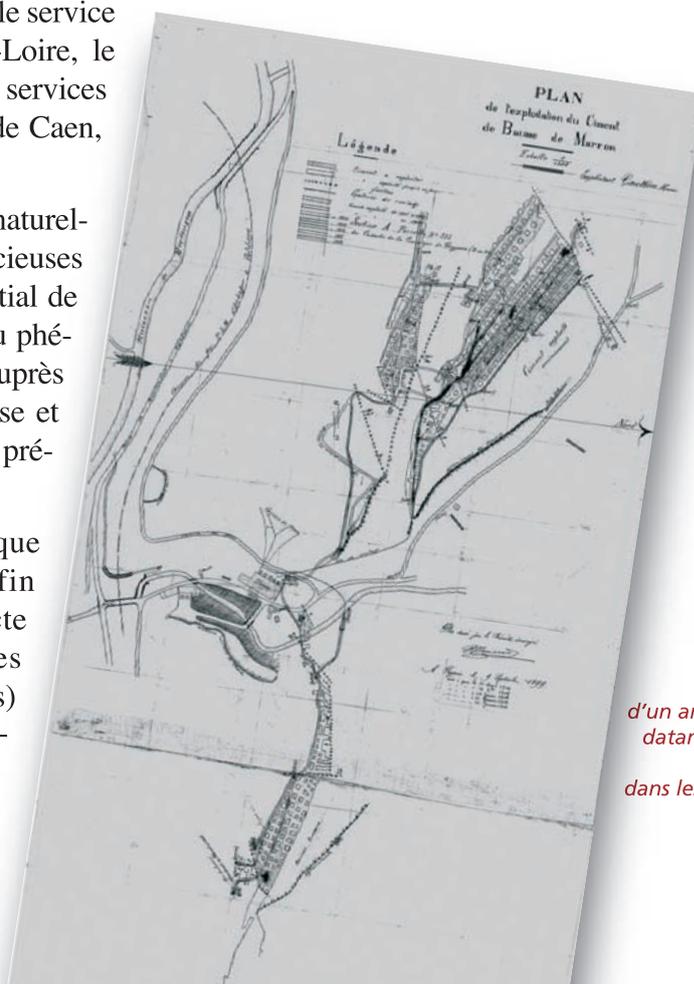
Les approches préliminaires géologique et hydrogéologique constituent enfin des phases importantes pour la collecte d'informations. La consultation des cartes⁴ (et des notices correspondantes)

au 1:50 000^e établies par le BRGM permet de cadrer l'environnement géologique général et de disposer de renseignements sur la nature et la structure des faciès exploités, des terrains de recouvrement (sol, roche), sur la tectonique générale de la zone et sur la présence de nappes superficielles. Ces données sont importantes lorsque les possibilités de reconnaissance au sein des ouvrages sont limitées ou lorsque les terrains en surface ne se prêtent pas à une interprétation aisée (absence d'affleurements, zones urbaines ou péri-urbaines).

4.2.2 Recherche de sources d'informations dans les archives

Aucune source d'information ne doit être négligée même si, au regard de l'expérience, certains canaux s'avèrent suffisamment stratégiques pour être consultés en priorité.

C'est notamment le cas des archives des directions régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) qui possèdent, fréquemment, des dossiers, même minimaux, concernant les anciens sites d'extraction souterrains.



Exemple d'un ancien plan datant de 1900 retrouvé dans les archives.

4 - <http://www.infoterre.tm.fr> et <http://editions.brgm.fr>

Dans bon nombre de cas, c'est toutefois au sein des Archives départementales (où la DRIRE a elle-même reversé ses archives les plus anciennes) et, plus rarement, des archives communales que les informations les plus complètes et les plus essentielles sont retrouvées.

Outre une recherche par commune, on ne saurait trop recommander une analyse attentive des séries « S » des fonds d'archives départementales, au sein desquels il existe presque systématiquement un sous-répertoire « mines et carrières ».

Au milieu de nombreux documents administratifs, il est alors parfois possible de retrouver un ancien plan d'exploitation transmis au « service des Mines » ou un rapport de visite d'un « ingénieur des Mines » qui décrit, avec force détails, l'exploitation inspectée ou l'historique d'un désordre.

Bien que le dépouillement s'avère fastidieux, les dossiers « accidents » constituent parfois des sources d'informations stratégiques. En effet, même s'ils ne font pas forcément référence à des instabilités majeures ayant affecté la surface, la survenue de ces accidents, notamment mortels, exigeait la tenue d'une enquête et la rédaction d'un rapport détaillé décrivant notamment la méthode d'exploitation utilisée.

4.2.3 Autres sources disponibles

Lorsque ces sources d'informations ont été étudiées, d'autres filières peuvent être envisagées si des informations importantes demeurent manquantes. Certaines sources sont toutefois difficiles à identifier. C'est le cas des associations de passionnés et de spéléologues, souvent amenées à réaliser des photos et même des levés de cavités lorsqu'ils ont l'occasion de pénétrer des vides non reconnus. Les associations d'histoire du patrimoine (souterrain ou non) connaissant parfaitement le contexte local, aussi bien culturel qu'industriel, sont également de précieuses sources d'information.

Suivant la nature des cavités et leur localisation, le fonds d'archives des organismes spécialisés (CETE, INERIS, BRGM) peut fournir, au cas par

cas, des renseignements utiles. On retiendra par exemple le cas des marnières de Normandie pour lesquelles le CETE de Rouen assure la collecte, le dépouillement et la gestion des archives.

On citera, dans des cas plus spécifiques, les archives nationales militaires situées au fort de Vincennes à Paris ou celles de l'Historial de Péronne lorsque le secteur étudié est affecté par des désordres liés, directement ou pas, à d'anciennes sapes de guerre (tout le nord-est de la France par exemple).

La consultation de monographies anciennes, d'ouvrages ou de publications spécialisés, de thèses ou de banques de données peut aussi fournir des renseignements techniques importants, tout comme les archives de la presse locale.

Enfin, on ne négligera pas le recours à différentes campagnes de photographies aériennes, établies à plusieurs époques, pour repérer des indices utiles à l'analyse (anciens désordres, puits ou entrées de galeries...). Dans de nombreuses régions, il existe en effet de nombreux clichés du territoire pris à intervalles réguliers, à des échelles comprises entre 1:15 000^e et 1:50 000^e et ce depuis plus d'un demi-siècle. Les références de ces photos sont disponibles sur le site internet⁶ de l'IGN et pour les plus anciens clichés, consultables à la photothèque de Saint-Mandé.

4.2.4 Collecte des informations lors de reconnaissances sur site

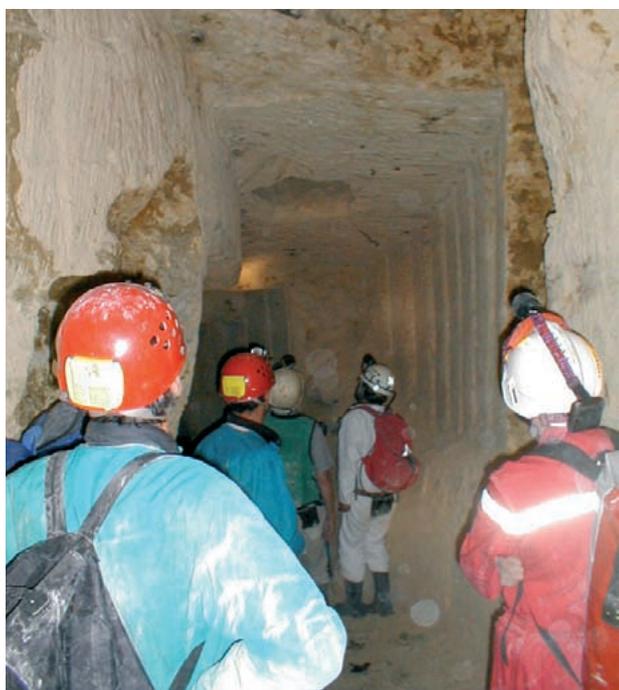
Sur le plan technique, il est indispensable qu'un PPRN relatif à la présence de cavités soit réalisé sur la base d'une reconnaissance approfondie du site.

Les études se réfèrent à une approche générale « naturaliste » basée sur la connaissance en l'état et une démarche d'expertise, mais elles peuvent parfois se baser sur l'observation directe de l'origine du risque, notamment dans ce domaine où celle-ci est « matérialisée » par un ouvrage souterrain existant.

6 - www.ign.fr



Source : INERIS.



Source : INERIS.

Exemples de reconnaissances géotechniques en phase informative.

Ainsi, lorsque l'accessibilité et les conditions de sécurité l'autorisent, l'expertise visuelle de ces cavités permet d'enrichir la connaissance et de valider ou de préciser les plans d'exploitation existants ou, si nécessaire, de les lever.

Elle fournit également des informations essentielles sur la ou les méthodes d'exploitation mises en œuvre (zones remblayées, multi-niveaux, etc.) ainsi que sur les mécanismes et phénomènes d'instabilité qui prennent naissance au sein des vieux travaux (indices de dégradation de piliers, cloches d'éboulement au toit, etc.).

La reconnaissance en surface permet de recenser les indices des mouvements passés ayant affecté récemment ou de façon plus ancienne les secteurs sous-cavés. On s'attachera, autant que faire se peut, à différencier les figures d'affaissement ou de vieux cratères d'effondrement remblayés des cuvettes liées à la topographie naturelle (voire à des emprunts de matériaux en surface), en veillant à les localiser aussi précisément que possible.

L'utilisation d'instruments modernes de localisation, type GPS (*Global Positioning System*), est alors d'une grande utilité.

Outre le recensement d'anciens désordres, la découverte de galeries d'accès ou d'anciens puits fournit des indices de présence de vides dans des secteurs vierges de plans d'exploitation.

Les reconnaissances sur le terrain doivent aussi permettre de préciser, à l'échelle du site, les indices géologiques ou hydrogéologiques, importants pour l'analyse des mécanismes. On effectuera, par exemple, différentes observations dans les galeries, sur les affleurements au droit des cavages ou dans des puits verticaux, ou encore, dans les remontées de fontis :

- les faciès caractéristiques des couches exploitées et ceux des terrains de couverture, les formes d'altération, la stratigraphie et le pendage des bancs ;
- les formes et les directions des fractures naturelles, leur densité et la présence éventuelle de couloirs de dissolution karstique (évaporites) ;

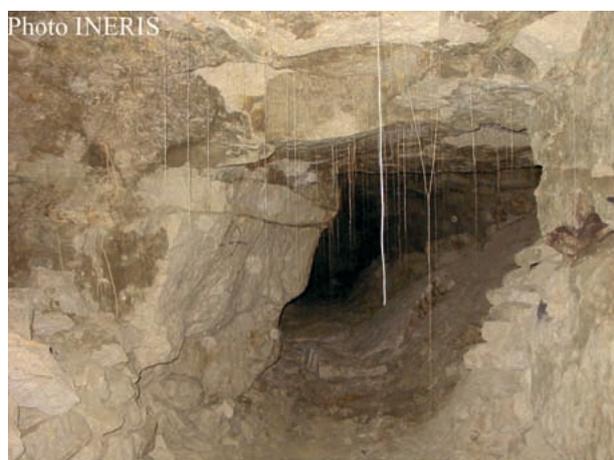
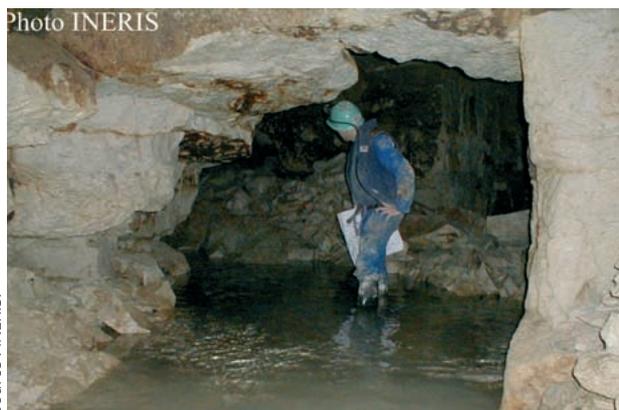


Photo INERIS

Source : INERIS.



Source : INERIS.

Facteurs pouvant favoriser la dégradation rapide de galeries (racines-eau).

- en ce qui concerne les critères hydrauliques, on repèrera les fractures drainantes, en surface les lignes de sources (témoignant de la présence d'horizons imperméables éventuels), les zones inondées ;
- enfin, tous les éléments naturels défavorables à l'évolution rapide des phénomènes seront répertoriés comme l'importance du système racinaire, les battements de nappe en galerie, etc.

Il est également intéressant de noter en première approche les enjeux majeurs présents dans le secteur d'étude.

Enfin, les enquêtes sur site sont l'occasion de recueillir des informations auprès des personnes connaissant le mieux l'environnement, à savoir les populations locales. Ces contacts, au hasard des reconnaissances sur le terrain ou à l'occasion de réunions de concertation, organisées à l'initiative du service instructeur par exemple, sont l'occasion de collecter des renseignements oraux, voire d'anciens plans d'exploitation non disponibles dans les archives publiques.

L'implication du conseil municipal, la préparation de ces rencontres (connaissance des problèmes et conflits éventuels...) et le contenu des messages qui y sont délivrés participent pleinement à l'esprit de concertation recommandé pour le PPRN. Ce sont des éléments essentiels pour instaurer un climat de confiance favorable à la transmission d'information et à l'explication du risque.

Il est notamment important de bien faire comprendre au public, qui peut avoir comme premier réflexe de ne pas diffuser toute l'information disponible afin de limiter les contraintes susceptibles de s'appliquer à leurs parcelles, que l'absence d'information peut aboutir à l'inverse de l'objectif recherché, à savoir l'application de mesures sécuritaires en cas de doute.

4.2.5 Carence d'information

Il arrive qu'une partie des informations sur la présence des cavités soit inexistante ou détruite. C'est en particulier le cas des exploitations très anciennes, des cavités de faible extension (marnières, sablières, etc.) ou bien de celles creusées pour une utilisation temporaire (sapes de guerre, etc.).

L'incertitude sur l'existence et/ou l'extension de vides peut aussi se faire jour à l'occasion de la découverte de textes ou de vieux plans partiels localisant des cavités en dehors des secteurs potentiellement sous-cavés.

Enfin, lors de visites sur site, des doutes peuvent survenir lorsque les cheminements se terminent sur les zones effondrées (ou condamnées) sans que l'on puisse juger de l'état ou de l'extension réelle de galeries situées au-delà.

À défaut de pouvoir bénéficier d'études complémentaires lourdes et coûteuses pour lever ces incertitudes, l'expert doit faire des choix qui se traduiront par la suite en terme de zonage et de niveau d'aléa.

Ces options s'appuient sur des critères qui devront être exposés et justifiés dès cette phase d'étude. On retiendra par exemple :

- les données géologiques et/ou géomorphologiques basées sur la configuration du gisement, la proximité des affleurements, la profondeur (et si c'est possible la variation au cours du temps) du niveau piezométrique de la nappe ;
- les indices historiques et techniques (l'existence d'enjeux à certaines époques, la précision des documents cartographiques, la présence de puits, les possibilités réelles d'extraction, etc.) ;

- les données indirectes relatives aux déclarations administratives, aux tonnages moyens extraits, voire aux plaintes et dénonciations de témoins.

Cette démarche permet de « pondérer » la prédisposition d'un site à l'apparition de désordres par une notion de présomption intégrant les doutes des experts résultant des lacunes d'informations. Il est souhaitable que la cartographie informative et la note s'y rapportant mettent en évidence cette nuance.

4.3 - Restitution

La carte informative des phénomènes passés doit figurer l'importance et la répartition des informations collectées. Elle constitue, avant tout, un outil de communication. Il faut donc insister sur l'importance de son caractère synthétique. L'objectif n'est, en aucun cas, de constituer des cartes « fourre-tout », en se contentant de reporter sur un fond cartographique l'ensemble des données récoltées sans que ces dernières aient été préalablement évaluées et critiquées et sans

que leur importance, pour la démarche d'identification et d'affichage des aléas, ait été clairement expliquée.

La carte informative, qu'il est vivement recommandé de présenter aux principaux partenaires, doit faire clairement ressortir les éléments essentiels (désordres ou nuisances passés et/ou présents, données géologiques, plans d'exploitation, ouvrages débouchant au jour, etc.).

Ces cartes doivent alors être accompagnées de tableaux de données indiquant succinctement l'origine des diverses informations, les dates des désordres et les emplacements exacts lorsqu'ils sont connus.

L'utilisation d'un fond ortho-photo-plan et le repérage précis des données répertoriées (entrées en cavage, emprises des zones effondrées, etc.), notamment à partir de reconnaissances sur le terrain avec un GPS, présentent maintenant de sérieux avantages pour établir la précision d'un zonage et favoriser la concertation avec les populations exposées.



Exemple de carte informative relative à des effondrements connus (points rouges).

Tableau d'information se rapportant à la carte

N° du désordre	Lieu d'apparition	Nature du désordre	Dimensions	Date d'apparition ou d'observation	Source d'information	Observations générales
51	Extrémité ouest de l'esplanade de la piscine	Effondrement	Long. < 10 m	-	BRGM	-
52	Rue Pierre Ceccaldi	Effondrement	-	Après la 2 ^e guerre mondiale	DRAC	-
53	Rue Ernest Lavisse	Effondrement	-	Années 1970	Mairie	-
54	Carrefour rues ceccaldi, Berthelot et Lavisse	Effondrement	-	Années 1970	Mairie	-
55	Rue Marcelin Berthelot	Effondrement	-	-	BRGM	Maisons fermées
56	Cimetière Saint-Just	Effondrement	Long. 10 m	-	-	-
57	69 rue Saint-Martin	Effondrement	-	Février 1991	Coupage de presse	Affaissement d'une voûte de cave ayant entraîné un arrêté de péril
58	Rue des Creutttes	Affaissement	Prof. 6 m	1991	DDE	Surcharge liée au passage de véhicules
59	Rue Gabriel Hannoteaux	Effondrement	-	4 février 1991	Mairie	Deux maisons rasées
60	Arsenal Saint-Vincent	Effondrement	Ø 10 m Prof. 8 m	-	Rapport SOGEO-POITIERS	-
61	Secteur de « la Croix Rouge »	Effondrement	-	-	Mairie	-
62	Ouest de l'escalier municipal	Effondrement	-	-	Mairie	Circulation d'eau à proximité de la surface
63	Rue Thibezard	Effondrement	Surf. 5 m ²	1989	Rapport CEBTP-REIMS	Infiltrations d'eau ayant probablement engendré une rupture de piliers et de voûte
64	Cour de la caserne de l'ancien Hôtel-Dieu	Effondrement	Long. 4 m	Avril 1907	Archives départementales	Rupture d'un égout suite à un affaissement de terrain
65	Rue Châteleine	Affaissement	-	-	Coupage de presse	Immeuble déclaré « en état de péril imminent »
66	Rue du Change, angle de la rue Châteleine	Affaissement	Long. 11 m Prof. 6 m	1913, 1917, 1927, 1937	Archives départementales	Rupture de conduites d'eau

Il convient d'identifier des éléments de calage (anciennes entrées, éléments de surface reportés sur le plan d'exploitation) pour superposer au mieux les fonds cartographiques. On peut même être amené à « retoucher » un plan d'exploitation par distorsion de manière à optimiser le calage sur les différents points « sûrs » disponibles. Il n'est en effet pas rare que les éléments cartographiques disponibles soient des « photocopies de photocopies » ou des reproductions de documents originaux et que ces manipulations successives aient contribué à dégrader la précision du report cartographique.

Rappelons que l'échelle classique en mouvement de terrain est le 1:10 000^e en zone rurale et le 1:5 000^e au mieux en zone urbaine. Le fait de réaliser un agrandissement « photocopieuse » d'un fond IGN au 1:25 000^e, qui constitue encore souvent le document de base utilisé, peut conduire à retenir des contours de zonage imprécis dont les implications à terme doivent être mentionnées (épaisseur du trait, décalage, augmentation des marges, etc.).

Le choix de l'échelle, correspondant à un compromis entre la précision des données et les supports cartographiques disponibles sur la zone

et compatibles avec des Systèmes d'Information Géographique (SIG), doit être établi et validé à l'issue de cette phase d'étude.

4.4 - Complications possibles et recommandations

La réalisation d'études complémentaires d'intérêt général, comme les études hydrogéologiques ou plus ponctuelles du type reconnaissance de vides, sont théoriquement possibles dans le cadre de l'élaboration des PPRN. Une application limitée au seul domaine privé les rend toutefois difficile à justifier vis-à-vis des fonds publics engagés.

De même, il convient de veiller à ce que les analyses techniques complémentaires, qu'il peut être nécessaire d'entreprendre dans le cadre d'un PPRN, n'engendrent pas un allongement inconsidéré de la durée d'étude (diagnostics dressés à l'issue d'une période de surveillance par exemple). Elles doivent être bien cadrées scientifiquement sur les besoins, les moyens mis en œuvre et les objectifs recherchés.

En ce qui concerne l'utilisation des documents cartographiques, les plans, levés par les associations ou des bureaux d'études mandatés par la mairie, sont établis dans un objectif louable de préciser les limites des vides, à des échelles très grandes comparables au cadastre sur lequel elles sont directement portées. Or, le cadastre est un document géré par l'administration fiscale n'ayant pas de finalité topographique. Son utilisation peut donc conduire à des erreurs cartographiques, en particulier sur l'évaluation des références altimétriques, permettant d'évaluer les marges de reculement liées à la profondeur des cavités ou hauteur des fronts rocheux.

Il apparaît donc que pour les PPRN cavités souterraines, la phase de collecte des données constitue une étape particulièrement cruciale et qu'elle doit être aussi complète que possible. La réussite d'une bonne approche informative permet d'élaborer le plan de prévention sur des bases claires.

On notera également que dans les cas où il existe un service des carrières, la durée et l'exhaustivité de ces recherches en amont seront grandement facilitées, de même que les possibilités de vérification rapide in situ.

5 - Évaluation des aléas

5.1 - Généralités

La phase d'évaluation des aléas a pour objectif de délimiter et de hiérarchiser en plusieurs niveaux les zones exposées à des phénomènes potentiels, en fonction de leur intensité et de leur probabilité d'occurrence prévisibles. Cette évaluation n'intègre pas la nature de l'occupation de la surface. Elle transcrit, de manière objective, le potentiel de risque ou de nuisances que les cavités sont susceptibles d'engendrer, à terme, dans le secteur d'étude.

Cette phase requiert un niveau d'expertise technique élevé. Elle est, de fait, souvent confiée à un organisme ou un bureau d'étude spécialisé dans le domaine concerné. La méthode d'évaluation adoptée doit être expliquée de manière aussi transparente que possible pour faciliter l'adhésion des futurs gestionnaires et des populations concernées.

Cette phase de l'étude donne naissance à l'établissement d'une ou de plusieurs, cartes qui localisent les zones d'aléas identifiées par la démarche d'évaluation. Ces documents conditionnent, dans une large mesure, la définition du zonage réglementaire.

5.1.1 Définition et concepts

L'aléa est un concept du risque naturel qui correspond à la probabilité qu'un phénomène se produise sur un site donné, au cours d'une période de référence, en atteignant une intensité ou une gravité qualifiable ou quantifiable. La caractérisation d'un aléa repose donc classiquement sur le croisement de **l'intensité prévisible du phénomène** avec sa **probabilité d'occurrence**.

Dans une optique de prévention des risques et d'aménagement du territoire telle que retenue dans le cadre de l'élaboration d'un PPRN, la

période de référence pour identifier le niveau d'aléa est généralement le **long terme**. Il est ainsi nécessaire d'intégrer à l'analyse la dégradation inéluctable dans le temps des caractéristiques du massif.

L'**intensité du phénomène** correspond à l'ampleur des désordres, impacts ou nuisances susceptibles de résulter du phénomène redouté. Cette notion intègre à la fois une hiérarchisation des conséquences des événements mais également leur potentiel de gravité sur les personnes, les biens et l'usage du sol susceptible d'occuper potentiellement le site.

La notion de **probabilité d'occurrence** traduit pour sa part la prédisposition que présente un site à être affecté par l'un ou l'autre des phénomènes analysés. Dans le domaine des mouvements de terrain, elle est généralement moins aisée à appréhender et à quantifier que l'intensité.

Quelle que soit la nature des événements redoutés, la complexité des mécanismes, la nature hétérogène du milieu naturel, le caractère très partiel des informations disponibles et le fait que de nombreux désordres ne soient pas répétitifs expliquent que l'on privilégiera une classification qualitative caractérisant une **prédisposition** du site au phénomène redouté. L'évaluation de cette prédisposition dépend de la combinaison d'un certain nombre de facteurs favorables ou défavorables à l'initiation et au développement des mécanismes pressentis.

5.1.2 Notion d'aléa de référence

La première étape de toute démarche de prévision des instabilités, susceptibles d'affecter un site sous-miné, consiste à identifier la nature des désordres ayant déjà, par le passé, affecté ce site. En effet, même si chaque mouvement de terrain

est unique et, dans le cas d'un effondrement, non reproductible en un point donné de l'espace, il est légitime de considérer que les instabilités s'étant déjà développées dans certains secteurs d'un « bassin de risques » sont susceptibles d'affecter, à terme, d'autres secteurs du même bassin présentant des configurations similaires.

C'est la notion **d'aléa de référence** que l'on définit, a priori, comme l'aléa correspondant au plus fort événement historique connu et reproductible sur le site étudié. Cette approche présente toutefois quelques limites. Ainsi, malgré les recherches entreprises, on peut ne pas disposer d'information fiable sur les mouvements de terrain passés (désordres très anciens) ou alors le plus fort événement historique connu est inférieur à l'événement majorant prévisible aux yeux des experts dans une période de retour raisonnable (un à quelques siècles).

Toutefois, dans une telle approche, on perçoit que c'est assez clairement la notion d'intensité du phénomène qui joue le rôle primordial dans la démarche de hiérarchisation de l'aléa.

Ainsi, lorsque la phase informative a été menée de manière efficace et que des informations suffisamment précises et nombreuses en terme de désordres passés, cette démarche d'identification d'un aléa de référence permet de simplifier considérablement la procédure.

5.2 - Qualification des aléas

5.2.1 Principes de qualification

L'intensité du phénomène caractérise l'ampleur des répercussions attendues. De manière à hiérarchiser les conséquences, il est d'usage de définir plusieurs classes d'intensité (limitée à élevée), dont on s'attachera à définir le nombre et le contenu en fonction de la nature des phénomènes attendus sur le site.

La démarche d'évaluation consiste tout d'abord à identifier la grandeur physique la plus représentative permettant de caractériser les conséquences des événements redoutés. Ensuite, l'expert

évalue, en intégrant l'ensemble des informations collectées, la valeur prévisible de cette grandeur, pour le site concerné, afin de définir à quelle classe d'intensité ce phénomène redouté correspond.

Pour ce faire, il faut pouvoir se rapporter à des classes d'intensité définies et, de fait, à des « valeurs seuils » permettant de différencier ces classes.

Cette approche renvoie à la notion de « gravité » des phénomènes redoutés. On entend par gravité, l'importance des conséquences prévisibles sur des enjeux qui pourraient être présents en surface.

Il est essentiel de préciser ici que cette réflexion ne doit pas se limiter aux enjeux existants ni aux projets futurs. Il s'agit d'une démarche d'abstraction qui s'attache à identifier la gravité intrinsèque d'un phénomène.

Cette gravité peut s'appliquer aux personnes (victimes), aux biens (dégâts) ou aux activités (limites d'usage) :

- pour la dangerosité des événements redoutés sur la sécurité des personnes, on s'attache à regrouper les phénomènes en fonction du nombre de victimes potentielles qui pourraient résulter de leur déclenchement (pas de victimes redoutées, victimes isolées possibles, accidents collectifs, catastrophe majeure, etc.).
- pour les conséquences des événements redoutés sur les biens (bâti et infrastructures), on s'attache à regrouper les phénomènes en fonction de la difficulté et du coût de mise en œuvre des mesures qu'il s'avèrerait nécessaire d'entreprendre pour prévenir tout désordre ou réparer les dommages engendrés.

5.2.2 Qualification de l'intensité

5.2.2.1 Affaissement

Pour ce qui concerne le phénomène d'affaissement, ce sont surtout les **déformations différentielles horizontales** et les **effets de mise en pente** du sol qui sont les plus dommageables et qui s'appliquent directement aux structures de surface. Nous retiendrons donc ces deux paramètres pour discriminer les classes d'intensité. Ces

grandeurs sont directement liées par des formulations empiriques, et seules les valeurs ayant trait à la mise en pente des terrains sont présentées.

La définition des classes d'intensité s'appuie sur la notion d'effets prévisibles sur les biens, même si, au-delà de certaines valeurs de déformations, les désordres infligés aux bâtiments peuvent s'avérer de nature à mettre en péril la sécurité des personnes qui y résident. On notera que ce phénomène concerne principalement les mines et n'intervient que de manière exceptionnelle dans le cas de carrières.

Parmi les principaux facteurs susceptibles de jouer sur la valeur de mise en pente, on citera : la hauteur, la profondeur et la largeur exploitée des cavités, la méthode d'exploitation, la nature et l'épaisseur des terrains de recouvrement, le pendage des couches, la topographie de surface, la présence de failles, etc.

Classe d'intensité	Conséquences sur le bâti	Mise en pente (en %)
Très limitée	Désordres uniquement perceptibles pour les ouvrages les plus sensibles	$0 < P < 1$
Limitée	Désordres légers de type fissures isolées sans atteintes aux fonctionnalités du bâtiment	$1 < P < 3$
Modérée	Fissures visibles de l'extérieur. Portes et fenêtres peuvent coincer et certaines canalisations se rompre	$3 < P < 6$
Élevée	Désordres structurels importants. L'utilisation du bâtiment est compromise	$P > 6$

5.2.2.2 Effondrement localisé

Le phénomène d'effondrement localisé est de nature à porter directement atteinte à la sécurité des personnes et des biens présents en surface.

L'aspect général d'un effondrement localisé de terrain, quelle que soit son origine, ayant souvent la forme d'un cratère, c'est le **diamètre de l'effondrement** qui influera sur les conséquences prévisibles sur la sécurité des personnes et des

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement
Très limitée	Effondrements auto-remblayés à proximité immédiate de la surface (« flache » de profondeur centimétrique)
Limitée	$\emptyset < 3 \text{ m}$
Modérée	$3 \text{ m} < \emptyset < 10 \text{ m}$
Élevée	$\emptyset > 10 \text{ m}$

biens présents dans la zone d'influence du désordre. C'est donc ce paramètre que l'on peut retenir comme grandeur représentative.

La profondeur du cratère peut également influencer sur la dangerosité du phénomène mais elle s'avère délicate à prévoir, notamment pour ce qui concerne les fontis et les débousses de puits. Ce critère n'a donc pas été retenu comme décisif.

Parmi les principaux facteurs susceptibles d'influer sur la valeur du diamètre de l'effondrement, on citera la dimension des cavités (notamment le volume des galeries), l'épaisseur et la nature des terrains constituant le recouvrement. Rappelons, à ce propos, que les caractéristiques des terrains superficiels jouent un rôle prépondérant car leur rupture (lorsqu'il s'agit de terrains déconsolidés) peut contribuer pour beaucoup aux dimensions de l'entonnoir d'effondrement en surface.

5.2.2.3 Effondrement en masse

L'effondrement en masse ou généralisé caractérise un mouvement d'extension spatiale importante et dont l'occurrence, quelle que soit l'amplitude de la descente des terrains de surface (directement reliée à l'ouverture des cavités et au taux de défrètement), peut mettre en péril la sécurité des personnes et des biens situés dans l'emprise de l'instabilité.

Il n'y a donc pas lieu de définir une grandeur de référence pour caractériser l'intensité de ce type de désordre, la classe d'intensité étant, systématiquement, élevée à très élevée, du fait également de l'absence de parades « légères » permettant de s'affranchir des conséquences prévisibles d'un tel phénomène en surface.

Tab. 3 - Hiérarchisation des classes d'intensité pour un effondrement généralisé

Classe d'intensité	Description
Élevée à très élevée	Effondrement en masse de la surface

5.2.2.4 Tableau récapitulatif des classes d'intensité

Le tableau ci-après propose un récapitulatif des classes d'intensité des phénomènes redoutés en définissant une série de critères de jugement basés essentiellement sur les conséquences physiques à terme en surface. On ne retiendra pas ici de caractéristiques liées à la brutalité de l'évènement mais il convient de rappeler que les effondrements sont des phénomènes soudains et donc plus dangereux.

Les critères de jugement des classes d'intensité ne constituent que des « **valeurs guide** » proposées par différents experts nationaux lors de

Tab.4 - Récapitulatif des classes d'intensité

Classe d'intensité	Phénomènes redoutés	Principaux critères de jugement (non exhaustifs)
Très limitée	Affaissement	Désordres uniquement perceptibles pour les ouvrages les plus sensibles - mise en pente < 1 %
	Effondrement localisé	Effondrements auto-remblayé à proximité immédiate de la surface (« Flash » de profondeur centimétrique)
Limitée	Affaissement	Désordres légers de type fissures isolées sans atteintes aux fonctionnalités du bâtiment - mise en pente < 3 %
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement < 3 m
Modérée	Affaissement	Fissures visibles à l'extérieur. Portes et fenêtres coincent et certaines canalisations se rompent - mise en pente < 6 %
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement < 10 m
Élevée	Affaissement	Désordres structurels importants. Bâtiments inhabitables - mise en pente > 6 %
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement > 10 m
Élevée à très élevée	Effondrement en masse de la surface	

diverses études d'aléas de PPRN cavités ou dans le cadre de groupes de travail, notamment celui mis en place pour le guide PPR Minier (2004).

D'autres critères peuvent évidemment être établis en fonction de la configuration des cavités ou des phénomènes observés sur un site donné. L'expert en charge de la réalisation du PPRN pourra donc adopter des valeurs ou des caractéristiques qui lui semblent les mieux correspondre au contexte de son étude.

5.3 - Qualification de la probabilité d'occurrence

5.3.1 Principes

La détermination de la probabilité d'occurrence de mouvements de terrain renvoie au problème de la prévision dans le temps de la rupture des massifs rocheux. Si une approche probabiliste semble adaptée aux séismes et aux inondations qui restent des phénomènes cycliques, les mouvements de terrain sont, au contraire, des phénomènes non périodiques qui évoluent de manière quasi-imperceptible durant de longues périodes avant de subir une accélération soudaine. Ils sont donc très difficilement prévisibles.

Plutôt que d'estimer une probabilité d'occurrence correspondant à une période de retour donnée (annuelle, décennale, centennale...), qui laisserait une grande place à la subjectivité et à l'incertitude, l'approche de ce concept est menée en termes de prédisposition du site vis-à-vis d'un type de rupture.

L'identification des classes de prédisposition est une démarche délicate qui relève, en pratique, de l'expertise du spécialiste. Elle doit cependant être décrite et explicitée avec la plus grande attention, de manière à rendre la démarche aussi transparente que possible vis-à-vis des différents partenaires impliqués dans la procédure d'élaboration du PPRN. A ce titre, deux notions primordiales doivent être prises en compte dans cette justification.

Prédisposition à la rupture

La prédisposition d'un site à l'apparition de désordres est évaluée en fonction de paramètres caractérisant l'environnement du secteur considéré et le type d'exploitation.

La détermination de cette prédisposition s'appuie, en premier lieu, sur le retour d'expérience, à savoir l'existence passée, sur le site ou sur un site voisin similaire, de désordres du même ordre. Il convient également de tenir compte des événements passés, désormais non observables mais dont on aura retrouvé trace au travers d'archives ou de témoignages. L'existence avérée de ces indices contribuera à augmenter la prédisposition à ce type de phénomènes.

L'examen géotechnique des ouvrages souterrains, lorsqu'ils sont visitables, conforte également le jugement de l'expert sur les niveaux de prédisposition à la rupture. Il est clair que les observations directes de désordres (montées de voûte, piliers ruinés, soufflages de mur, etc.) et/ou de configurations défavorables (géométrie complexe, densité de fracturation, présence d'eau, etc.) vont constituer des critères d'appréciation pondérant la prédisposition d'un site (ou d'une zone particulière) donné à la rupture.

En complément de cette analyse en retour d'expérience, la détermination de la prédisposition repose également sur la connaissance des scénarios d'instabilité des cavités. La conjugaison de paramètres favorables à cette survenue contribuera naturellement à surclasser la classe de prédisposition. Ainsi, à titre d'exemple, une épaisseur de recouvrement importante, des dimensions limitées de galeries et la présence de bancs résistants dans le recouvrement feront qu'un site sera moins prédisposé à l'apparition de fontis en surface qu'un secteur d'exploitation peu profond situé sous un recouvrement exclusivement marneux.

Dans une optique de prévention des risques et d'aménagement du territoire telle que retenue dans le cadre de l'élaboration d'un PPRN, il convient d'évaluer la prédisposition d'un site à

l'apparition d'instabilité en surface **dans le long terme** et de tenir compte du vieillissement inéluctable du matériau rocheux et de sa dégradation mécanique dans le temps.

Il convient de mentionner que certains matériaux sont particulièrement « évolutifs » à court terme comme le gypse ou les argiles et sables indurés.

Présomption de présence de vides

La notion de prédisposition d'un site à la rupture suffit dans le cas d'ouvrages connus et convenablement repérés. En l'absence d'informations partielles ou totales, on est amené à introduire un autre concept : celui de « présomption de présence de vides ».

Autant il n'irait pas dans le sens de la sécurité de s'en tenir aux seules données prouvées, autant il serait déraisonnable d'accorder la même susceptibilité aux zones pour lesquelles la présence de vide est avérée qu'à celles pour lesquelles cette présence n'est que suspectée.

En fonction de critères historiques et/ou techniques, lesquels doivent alors être exposés de manière précise et honnête, on peut classer les différents secteurs en fonction de la présence de vides allant de « improbable » à « très probable » voire « certaine ».

Cette démarche permet de « pondérer » la prédisposition d'un site à l'apparition de désordres par une notion de présomption intégrant les doutes résultant des lacunes d'informations. Il est souhaitable que la cartographie de l'aléa puisse mettre en évidence cette nuance.

Qualification de la classe de probabilité d'occurrence

La combinaison, lorsque qu'elle est nécessaire, des deux concepts précédents (prédisposition du site à la rupture et présomption de présence de vides) permet de définir la classe de probabilité d'occurrence caractérisant le site étudié selon les termes classiques de *peu sensible*, *sensible*, *très sensible*. Le principe de hiérarchisation de ces classes est proposé dans le tableau suivant.

Tab. 5 - Hiérarchisation des classes de probabilité d'occurrence en fonction des critères de prédisposition et de présomption de vides

Présomption de vides	Prédisposition à la rupture		
	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Improbable	Négligeable		
Probable			
Très probable voire certaine			

Cette démarche permet de « pondérer » la prédisposition d'un site à l'apparition de désordres par une notion de présomption intégrant les doutes résultant des lacunes d'informations. Il est souhaitable que la cartographie de l'aléa puisse mettre en évidence cette nuance.

Notons que la démarche doit être entreprise pour chaque type de phénomène qui se voit attribuer une classe de probabilité d'occurrence spécifique (en un point donné, la probabilité de voir se développer un effondrement généralisé ou un affaissement progressif n'ont, a priori, aucune raison d'être identiques).

S'il n'y a pas lieu de passer par la notion de présomption de présence de vides, les classes de probabilité d'occurrence seront directement déduites des classes de prédisposition d'un site à la rupture.

5.3.2 Critères de qualification de probabilité d'occurrence

D'une manière générale, l'existence d'indices d'anciens désordres (encore visibles en surface ou décrits dans les archives) dans un secteur proche présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation comparables, contribuera à augmenter la prédisposition au développement futur de ce type de phénomène. Ceci est vrai pour l'ensemble des phénomènes décrits ci-dessous : affaissements, effondrements localisés et effondrements généralisés.

5.3.2.1 Affaissement

Rappelons que l'affaissement est un phénomène relativement rare à l'aplomb de carrières souterraines du fait de la profondeur généralement réduite des travaux d'extraction. Toutefois, dans certaines configurations particulières, des cuvettes souples peuvent se développer en surface, notamment lorsqu'il existe les prédispositions suivantes.

Prédisposition à la ruine d'un ouvrage souterrain

Cette prédisposition à la ruine de l'ouvrage souterrain dépendra principalement :

- de la nature et de la profondeur des cavités et des conditions d'extraction de la zone considérée ;
- des caractéristiques du massif (résistance des couches extraites et éventuellement des confortements mis en place, taille, forme, régularité, qualité de la superposition en cas d'exploitation superposée proche...);
- d'autres facteurs (sensibilité des matériaux à l'eau, présence de failles, etc.).

Prédisposition à une descente souple et progressive du recouvrement

Les principaux facteurs de prédisposition à un mouvement souple et progressif des terrains de recouvrement sont :

- un ratio largeur des vides sur épaisseur de recouvrement faible ;
- une hauteur de vide résiduel (en cas de remblayage partiel notamment) relativement faible au regard de la profondeur des travaux ;
- des terrains de recouvrement présentant un comportement plutôt « plastique » (cas des marnes par exemple) ou déjà déconsolidé (effondrement ou torpillage).

5.3.2.2 Effondrement localisé

La prédisposition d'un site à voir se développer un fontis à l'aplomb d'anciens vides dépend de la ruine de l'ouvrage souterrain et du mode de remontée de l'instabilité jusqu'en surface.

Prédisposition à la ruine de la cavité souterraine

■ Rupture et éboulement du toit de la cavité

La prédisposition dépend essentiellement de :

- la largeur (ou portée) du toit des chambres ou des galeries concernées ;
- la nature et l'épaisseur des premiers bancs rocheux.

■ Rupture de piliers isolés

La prédisposition à la rupture de piliers dépend principalement :

- des contraintes s'exerçant au sein du massif (tributaires notamment du taux de défrusement local et de la profondeur des vides) ;
- des caractéristiques des piliers concernés (résistance du pilier, sensibilité à l'eau, section, élanement, forme, régularité, présence de failles ou d'accidents structuraux, mauvaise superposition, etc.).

Prédisposition à la remontée de l'instabilité jusqu'en surface

Une fois la ruine initiée au sein de la cavité, deux mécanismes sont susceptibles de s'opposer à sa propagation vers la surface dans le long terme :

- *la stabilisation du phénomène par formation d'une voûte stable.* Vis-à-vis de ce mécanisme, la présence de bancs massifs, épais et résistants au sein du recouvrement contribuera à diminuer la prédisposition d'un site à voir se développer des fontis en surface ;

- *la stabilisation du phénomène par auto-comblement,* du fait du foisonnement des éboulis.

Le volume des vides résiduels en profondeur (tenant compte de la dimension des galeries et de l'existence d'éventuels comblements) ainsi que la nature (coefficient de foisonnement) et l'épaisseur des terrains de recouvrement influenceront directement sur la prédisposition des remontées de voûte à se stabiliser par auto-comblement ou à déboucher en surface.

Dans les faits, même si le critère de profondeur est étroitement dépendant de la nature des terrains de recouvrement, le retour d'expérience montre

qu'au-delà d'une cinquantaine de mètres, la prédisposition aux remontées de fontis devient négligeable pour des galeries de dimensions « classiques » (présentant une hauteur inférieure à 4 m).

En ce qui concerne l'effondrement lié à la rupture d'un orifice vertical, plusieurs mécanismes peuvent favoriser le déclenchement de ce type d'instabilité :

- l'effondrement de la structure mise en place en tête d'un puits vide (plancher en bois, voûte en briques, dalle, bouchon, etc.). Dans ce cas, ce sont les caractéristiques de cette structure (résistance, dimensions), son altérabilité dans le long terme, la nature du revêtement du puits ainsi que la nature et la résistance des terrains encaissants qui constituent directement les critères de prédisposition du site à la rupture ;

- le débouillage (par « pistonage ») d'un puits remblayé. Dans ce cas de figure, les éventuelles variations du niveau d'eau dans la cavité, l'ancienneté du remblayage et l'existence de facteurs aggravants (vibrations, surcharges, etc.) contribueront à augmenter la prédisposition du puits à subir un débouillage.

Parmi les critères de prédisposition potentiels, il convient de ne pas négliger la présence et l'épaisseur de terrains sans cohésion en sub-surface qui peuvent engendrer la rupture des terrains encaissants et contribuer à l'extension d'un désordre très largement au-delà de l'emprise stricte du puits.

5.3.2.3 Effondrement généralisé

Les prédispositions au développement d'un effondrement généralisé se retrouvent essentiellement dans des anciennes exploitations étendues menées par chambres et piliers.

Prédisposition de l'ouvrage souterrain à la rupture

Elle dépendra principalement :

- des contraintes s'exerçant au sein d'un grand nombre de piliers ayant atteint un « état limite » de stabilité (fonction notamment du taux de

défruitement, de la profondeur des travaux et des conditions d'exploitation des secteurs adjacents à la zone considérée) ;

- des caractéristiques favorables à une rupture brutale des piliers (comportement fragile du matériau, fort élancement, mauvaise superposition, etc.) ;
- l'absence de massifs vierges au sein de l'exploitation ou « piliers barrières » susceptibles de bloquer la propagation d'un front d'effondrement ;
- d'autres facteurs tels que la sensibilité des matériaux à l'eau (gypse ou craie notamment), le comportement du mur (poinçonnement), la présence de failles, etc.

Prédisposition des terrains de recouvrement à une rupture dynamique

Parmi les principaux facteurs qui vont, en cas de rupture de l'ouvrage souterrain, prédisposer un site à subir un effondrement dynamique des terrains de surface, on citera :

- une extension latérale d'exploitation et une ouverture de vide résiduel suffisantes au regard de l'épaisseur de recouvrement ;
- la présence d'un (ou de) banc(s) résistant(s) au sein du recouvrement susceptible de se rompre de manière dynamique, entraînant dans sa ruine la rupture en masse des piliers sous-jacents.

5.4 - Détermination des classes d'aléa

S'il existe différentes méthodes de croisement (cotation, multicritères, etc.), il est fréquent de recourir au principe de matrice de croisement. En s'appuyant sur la définition de l'aléa ainsi que sur le principe de cette méthode des matrices de croisement, on peut, en ayant défini la classe d'intensité et la classe de probabilité d'occurrence de chaque phénomène en chaque point, définir la classe d'aléa résultant qui permet de définir le point considéré.

Le principe de hiérarchisation est présenté dans le tableau suivant. Chaque site étant spécifique, ce type de tableau devra être adapté au contexte qui le caractérise.

Tab. 6 - Mode de hiérarchisation des classes d'aléa

Intensité	Probabilité d'occurrence		
	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Très limitée (affaissements et effondrements auto-remblayés)	Aléa faible		
Limitée (affaissements nets et petits fontis)			
Modérée (effondrements localisés)	Aléa fort		

Cette caractérisation a pour objectif de hiérarchiser les niveaux d'aléa, souvent restreints à 3 ou 4 (faible, moyen fort) par défaut.

Même si une démarche d'homogénéisation des classes d'aléa est souhaitable à l'échelle du territoire, la classification proposée n'en demeure pas moins relative. L'aléa fort signifie que les zones concernées sont plus prédisposées à la rupture de l'ouvrage et, par conséquent à l'apparition de dégradations en surface, que les zones caractérisées « d'aléa faible ».

D'autre part, beaucoup de sites sous-cavés en France ne présentent pas de configurations prédisposant à l'intensité maximale du type « effondrement en masse ». Sur un site donné, l'aléa le plus fort peut ne correspondre qu'à une classe d'intensité du type effondrement localisé.

Enfin, les classifications d'aléa « fort » ou « très fort » renvoient souvent à un degré de probabilité d'occurrence forte et, par-là même, à une notion de danger « à court terme » au mieux à échéance de quelques années ou dizaines d'années.

5.5 - Cartographie de l'Aléa

5.5.1 Principes cartographiques

L'aléa est un concept spatial, évalué en un point donné. Il a donc vocation à être cartographié sur l'ensemble du secteur d'étude de manière à faire ressortir les secteurs les plus sensibles au développement d'instabilités potentielles.

L'échelle de cartographie ne doit pas aboutir à un blocage vis-à-vis des collectivités. Rappelons que le choix de l'échelle du rendu cartographique doit être adapté au besoin et à la précision des connaissances. Dans le domaine des cavités souterraines, l'échelle du 1:5 000^e en milieu urbain (1:10 000^e en campagne) a généralement permis d'aboutir à un compromis satisfaisant.

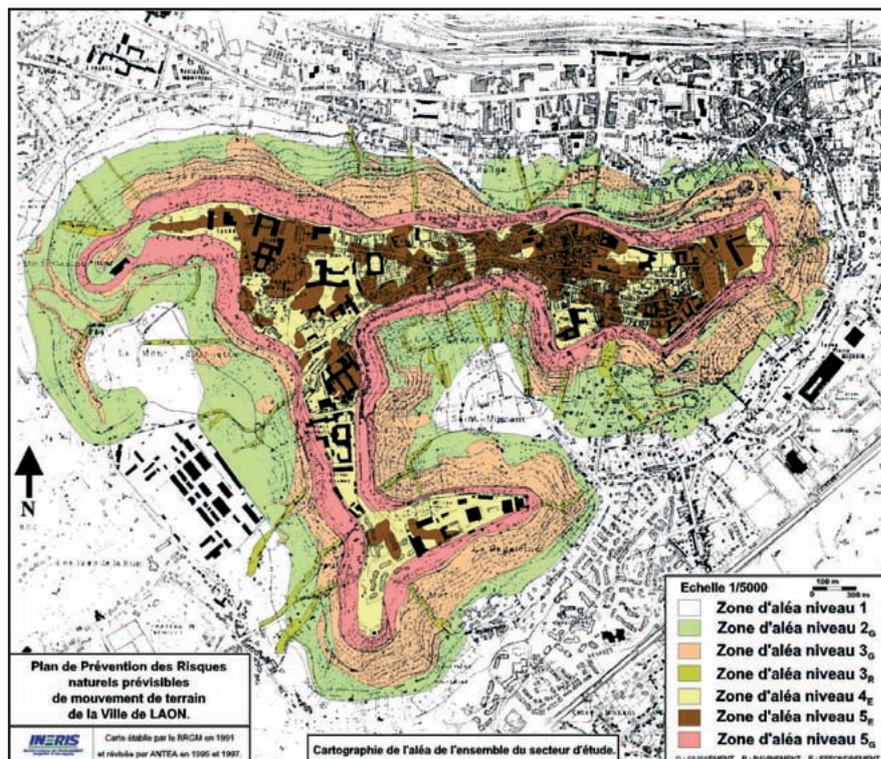
Les contours du zonage de l'aléa doivent s'appuyer sur des paramètres techniques (géologie, exploitation, etc.). Ils n'ont donc aucune raison de suivre les contours de parcelles.

Lorsque, comme c'est souvent le cas, plusieurs phénomènes potentiels coexistent sur la même parcelle, on peut soit établir plusieurs cartographies de l'aléa, une par phénomène (affaissement, effondrement localisé), soit privilégier une approche synthétique consistant à tout reporter sur une même carte en retenant le principe de l'aléa majorant pour ne pas alourdir la restitution. Le choix sera fait au regard de la nature du site et du nombre de phénomènes concernés.

S'il n'existe pas de codes normalisés pour la couleur des différentes classes d'aléas définies, on veillera à éviter les codes de couleur pouvant porter à confusion avec ceux classiquement utilisés pour le zonage réglementaire.

L'INERIS a opté pour le code de couleur suivant afin d'homogénéiser les restitutions cartographiques établies à l'échelle du territoire national :

- très faible : vert clair ;
- faible : jaune ;
- moyen : saumon ;
- fort : brun.



Exemple de cartographie de l'aléa reportée sur un fond 1/5 000^e.

5.5.2 Notion de « marges de sécurité »

La cartographie de l'aléa concerne toujours les terrains de surface. Une attention toute particulière doit donc être portée à la notion de « marge de sécurité » qui regroupe à la fois l'incertitude spécifique :

- au positionnement des travaux souterrains par rapport à la surface,
- à l'extension latérale possible des désordres en cas de remontée non verticale des éboulements.

Cette marge de sécurité n'intègre en revanche pas les terrains pour lesquels existe une présomption de présence de vides. L'évaluation de l'aléa à l'aplomb de ces secteurs résulte d'une démarche autre, déjà évoquée plus haut, qui visera à identifier un aléa propre au travers d'une quantification de la présomption de vide en s'appuyant sur des indices de surface ainsi que sur la géologie des terrains encaissants.

Marge d'incertitude sur la localisation des vides

Cette marge s'explique par l'incertitude inhérente au calage des plans par rapport à la surface et

par leur caractère parfois « incomplet » vis-à-vis des limites réelles des travaux [§ 4.2.5]. Le fait de disposer de documents cartographiques n'est donc pas une fin en soi. Il est en effet nécessaire de les recalcr sur un plan de surface actualisé.

En fonction du choix du fond topographique (validé en phase informative) et malgré l'attention portée aux corrections, une incertitude demeure généralement sur la précision du report cartographique ce qui explique la prise en compte d'une marge d'incertitude.

Suivant la qualité du fond, le nombre de points de calage et la précision des opérations de retouche entreprises, cette incertitude peut varier du mètre à plusieurs dizaines de mètres en certains points.

Extension latérale possible des désordres - marge de reculement

La seconde composante de la marge de sécurité s'explique par l'extension latérale possible des désordres prenant naissance au sein des vides souterrains pour se manifester en surface. L'expérience montre en effet que les instabilités ne se limitent pas à l'aplomb strict des secteurs anciennement exploités. Du fait de l'extension latérale des désordres, certaines parcelles non sous-cavées, mais situées en périphérie immédiate des vides peuvent se trouver affectées :

- soit par des désordres francs ;
- soit par des décompressions de terrains, en particulier lorsque les effondrements n'ont pas fait l'objet d'un comblement rapide en surface ou lorsque les terrains alentours sont pentés [voir § 3-4].

L'angle de rupture des terrains de recouvrement dépend étroitement de leur nature. Ainsi, plus un terrain est cohérent, plus l'angle de rupture est proche de la verticale. À l'inverse, des terrains bouillants comme certains sables aquifères peuvent présenter des angles de rupture voisins de 45°. En analysant la nature des terrains constituant le recouvrement ainsi que leur épaisseur respective (notamment pour ce qui concerne les terrains souvent déconsolidés qui constituent la

sub-surface), il est possible de définir une marge de reculement capable de caractériser le déport possible des désordres en périphérie des travaux. Là encore, l'extension latérale peut varier de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres.

La prise en compte individuelle ou cumulée (selon les cas) de ces deux marges permet de définir l'auréole de la zone à risque susceptible de « déborder » du strict contour des travaux souterrains.

Assez logiquement, on affecte à la marge d'incertitude le même niveau d'aléa que celui défini pour le secteur connu.

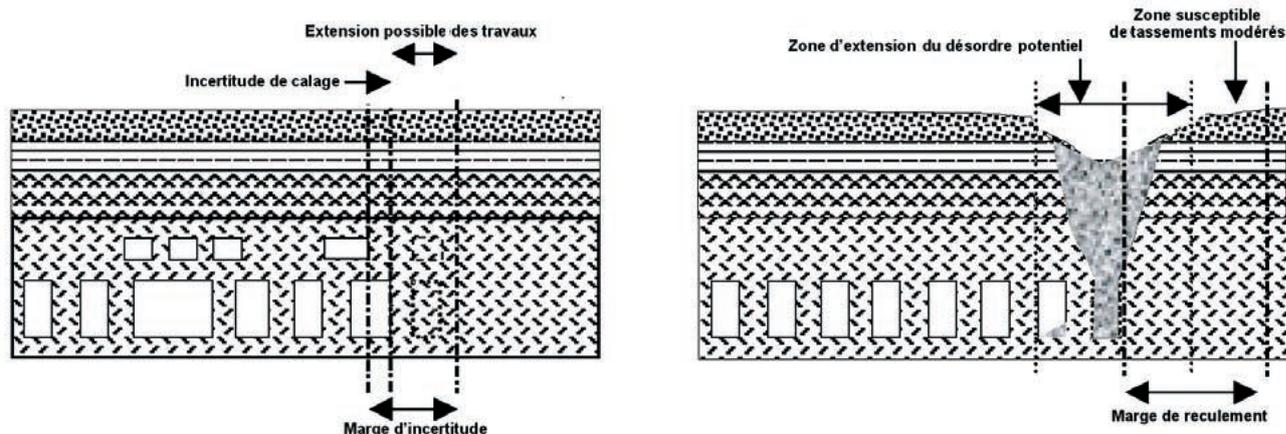
Pour la marge de reculement, la zone d'extension du désordre sera affectée du même niveau d'aléa que l'aplomb direct des travaux puisque cette auréole regroupe des terrains soumis aux mêmes phénomènes. Par contre, la zone susceptible de ne comporter que des tassements modérés pourra faire l'objet d'une diminution du niveau d'aléa.

5.6 - Remarques et recommandations

D'une manière générale il convient de considérer que, contrairement à d'autres types de risques naturels, l'aléa relatif aux cavités présente des caractéristiques spécifiques, notamment par les caractères :

- ponctuel, puisqu'il affecte des zones limitées (au plus quelques hectares) ;
- définitif, puisque à l'emplacement où il s'est développé, il ne pourra plus se reproduire, du moins avec la même intensité (possibilité toutefois d'affaissement résiduel) ;
- maîtrisable, puisque que contrairement à beaucoup d'autres risques naturels, l'origine de l'aléa peut être, sous certaines conditions, identifiée et supprimée.

Dans le cadre de l'analyse de l'aléa, il convient de ne pas négliger, que l'on soit dans le cadre d'un PPRN multirisque ou pas, les phénomènes associés de glissements ou d'écroulement de fronts rocheux, en bordure des coteaux ou à proximité des entrées en cavage.



Définition des différentes marges composant la marge de sécurité.

Cette association amène parfois à étendre l'analyse des risques (et donc à proposer un zonage réglementaire) dans des secteurs en aval, non directement concernés par les cavités.

Il est important que la méthode utilisée soit logique et didactique. L'expertise doit notamment bien rendre compte des difficultés de prévision de l'occurrence d'un effondrement en tenant compte du caractère inéluctable de la rupture des ouvrages souterrains dans le long terme et de l'existence de facteurs aggravants.

L'analyse de détail peut être privilégiée pour des exploitations accessibles et de petites dimensions. Dès lors que la surface exploitée excède plusieurs dizaines d'hectares, il devient cependant très difficile d'envisager, dans le cadre d'un PPRN, une analyse s'appuyant sur une reconnaissance exhaustive de l'intégralité des travaux souterrains. D'autre part, en présence de secteurs inaccessibles et/ou dépourvus de plans d'exploitation, cette option s'avère inenvisageable.

La globalisation de l'analyse consiste en revanche à uniformiser l'ensemble des cavités en une seule et même configuration. Cette approche est plus simple, rapide et peu coûteuse. Elle s'avère pertinente en cas d'exploitations assez homogènes et dans des environnements dépourvus d'enjeux en surface. Si les critères ne sont basés que sur la potentialité de présence de cavités, le niveau de l'aléa risque alors de passer de fort (cavités existantes ou supposées) à modéré ou

faible (cavités simplement probables) avec, bien souvent, une transcription « brutale » en termes réglementaires.

Pour éviter de bloquer globalement tout projet de développement et d'urbanisation de la surface, il est préférable d'identifier, avec une précision satisfaisante, les zones sous cavées et d'établir une hiérarchisation de l'aléa en terme de prédisposition vis-à-vis d'un phénomène donné. L'intérêt de cette approche réside alors dans la possibilité d'adapter au mieux les mesures de prévention en fonction des désordres attendus et de proposer des traitements ciblés pour réduire l'aléa.

Pour répondre au mieux à ces objectifs, très en rapport avec l'esprit de la prévention des risques, il peut être procédé selon des méthodes du type « **configurations types** » qui consiste à définir un certain nombre de configurations à l'aide des paramètres qui caractérisent le mieux le comportement des exploitations souterraines et leur évolution à long terme (voir explication et exemple d'application en annexe).

En outre, une démarche technique menée dans le cadre d'un groupe de travail réunissant plusieurs organismes spécialisés dans la problématique des risques souterrains, garantit une certaine homogénéité des conclusions et permet d'établir pour une zone donnée une démarche « référence ».

6 - *Appréciation des enjeux*

On désigne par **enjeux** d'un territoire, les personnes, biens, activités présents sur la zone étudiée, susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel et de subir des dommages ou des préjudices. Par extension, on inclut également dans les enjeux les ouvrages ou fonctions susceptibles de diminuer ou d'aggraver les conséquences d'un événement (par exemple, établissement de gestion de crise).

La phase d'appréciation des enjeux a pour objectifs de recenser, avec la collectivité territoriale, l'ensemble des enjeux existants au sein des territoires soumis à un ou plusieurs aléas et d'identifier les projets futurs qui pourraient s'y développer.

On s'attache notamment à évaluer la **vulnérabilité** des populations exposées en recensant les équipements les plus sensibles, les établissements recevant du public et les voies de circulation prioritaires pour l'éventuel acheminement de secours, etc. La vulnérabilité caractérise la fragilité d'un enjeu face à un aléa donné. Elle se traduit par le niveau des conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux (dommages directs ou indirects).

On identifie également les enjeux susceptibles de constituer des facteurs aggravants ou d'engendrer des sur-accidents (routes ou réseaux de gaz par exemple).

Cette analyse est fondamentale, car, confrontée à la carte des aléas, elle va permettre d'identifier, voire de mesurer, les risques vis-à-vis de l'occupation du sol en l'état et aussi d'évaluer les possibilités de conciliation entre les objectifs de prévention des risques et les objectifs du développement des territoires. Elle peut conduire, dans certains contextes particulièrement défavorables, à identifier des secteurs particulièrement

exposés où des mesures d'expropriation, au titre de l'article L.561-1 du Code de l'environnement relative au renforcement de la protection de l'environnement, peuvent être envisagées.

Par ailleurs, certaines villes construites et étendues sur d'anciennes cavités souterraines présentent un patrimoine architectural remarquable, lié précisément parfois aux carrières dont sont extraits les matériaux ayant permis leur édification. Ce rapport spécifique au risque, ainsi que l'intérêt propre de ce patrimoine, justifient une analyse spécifique et une concertation approfondie. Le PPR devra proposer des solutions permettant la protection et la valorisation de ce patrimoine.

6.1 - Identification des types d'enjeux

Cette phase d'analyse repose sur l'utilisation de plusieurs sources d'information :

- l'exploitation des photographies aériennes ;
- les enquêtes systématiques de terrain et les entretiens menés avec les collectivités concernées ;
- l'analyse des documents d'urbanisme ;
- l'identification des projets en cours par les élus ;
- la connaissance des structures d'aménagement ou de gestion des aléas existantes ou envisagées sur le bassin de risque.

Elle est menée en concertation avec l'ensemble des acteurs, et plus particulièrement par l'association de la collectivité territoriale. Cette démarche doit également faire intervenir les services chargés de la sécurité civile, dont la participation est indispensable dès ce stade des études, le PPRN devant en effet, par ses dispositions préventives, faciliter la gestion de la crise. Il ne

lui appartient cependant pas de l'organiser en se substituant aux outils et structures existant dans ce domaine.

Les enjeux désignent les différents éléments de l'occupation de l'espace d'ordre humains, socio-économiques, patrimoniaux et environnementaux. Leur analyse conduit également à distinguer plusieurs sous-ensembles :

- **les enjeux surfaciques** intégrant les espaces urbanisés et les centres urbains, les secteurs non urbanisés ou peu urbanisés ou peu aménagés. Ils servent notamment de base à l'établissement du zonage réglementaire ;
- **les enjeux linéaires** tels que les infrastructures routières, ferroviaires ou les divers réseaux aériens ou souterrains qui sont vulnérables et peuvent aggraver une situation de crise. Ils sont le plus souvent sous la responsabilité d'un gestionnaire et le règlement ne s'attache pas à proposer de mesures particulières de réduction du risque. Ils doivent cependant être pris en compte dans le Plan Communal de Sauvegarde ;
- **les enjeux ponctuels** qui concernent notamment les sites sensibles, les équipements de services et de secours,

L'analyse de l'aléa peut également conduire à s'intéresser à des espaces non directement exposés et parfois situés en dehors du périmètre d'étude mais qui peuvent les provoquer ou les aggraver.



Exemple d'un centre urbain avec un fort patrimoine historique.

6.1.1 Enjeux existants

6.1.1.1 Espaces urbanisés

Ils sont définis par référence au Code de l'Urbanisme qui précise que le caractère urbanisé s'apprécie en fonction de la réalité physique et non en fonction d'un zonage opéré par un Plan Local d'Urbanisme. Ces dispositions peuvent conduire à exclure des zones dites « urbanisables », les opérations déjà autorisées pouvant toutefois être prises en compte.

Les centres urbains sont définis en fonction de quatre critères : leur histoire, une occupation du sol importante, une continuité bâtie et la mixité des usages entre logements, commerces et services.

Ces critères ne permettent cependant pas de tracer automatiquement un périmètre. Une bonne connaissance du territoire est donc nécessaire pour interpréter les données constituées et arrêter les limites des centres urbains. Il est ainsi impératif d'associer les collectivités à cette phase de travail.

Cet exercice permet généralement d'identifier des zones strictement résidentielles, qu'elles soient pavillonnaires ou de logements collectifs, au sein ou en dehors des centres urbains.

Au total, les espaces urbanisés feront explicitement apparaître les centres urbains et les zones d'habitations denses, les autres parties actuellement urbanisées et le patrimoine historique.

6.1.1.2 Infrastructures et équipements sensibles

Au-delà de la délimitation des espaces urbanisés, il est nécessaire d'identifier tout ce qui contribue à la sécurité des personnes, à la protection des biens et à la gestion de crise, comme :

- les voies de circulation (lignes RFF, canaux, routes et autoroutes, etc.) structurantes, existantes ou en construction ;
- les voies de desserte locale de l'habitat et des équipements ;
- les établissements recevant du public (ERP), exposés ou non aux aléas et éventuellement susceptibles d'accueillir la population sinistrée : les

écoles, les salles des fêtes, les terrains de campings, etc.) ;

- les équipements sensibles ou stratégiques tels que les centres de secours, les hôpitaux, etc.
- les réseaux aériens électriques et téléphoniques (y compris les centraux, les transformateurs et les pylônes),
- les réseaux enterrés d'eau et de gaz qui constituent, pour l'aléa cavité, des structures susceptibles d'engendrer, suite à une rupture, un sur-accident.

6.1.1.3 Friches

Les friches, industrielles ou urbaines, doivent faire l'objet d'une attention particulière qui justifie leur analyse spécifique dans le cadre de l'évaluation des enjeux.

Lorsqu'elles correspondent à des îlots ou des terrains de grande superficie qui ont connu une activité (parfois en liaison avec des exploitations souterraines) ou une urbanisation dans le passé, elles doivent être, autant que faire se peut, préservées de toute urbanisation nouvelle, en particulier si elles sont exposées à des aléas forts.

Ces friches, si elles sont incluses dans les secteurs urbanisés peuvent cependant, soit, présenter une situation de dépréciation généralisée (économique, démographique, matérielle), soit, être stratégiques dans la perspective d'une revalorisation urbaine.

Les secteurs ainsi concernés, qui pourraient donner lieu à une certaine ré-urbanisation, doivent faire l'objet d'une délimitation précise. Une réflexion spécifique permettra dans ce cas de vérifier que certaines conditions sont réunies :

- la certitude que les avantages liés à l'aménagement de ces secteurs sont suffisamment importants au regard des dommages prévisibles ;
- l'absence de solution alternative dans les zones voisines non exposées ou faiblement exposées à des risques d'effondrement, pour atteindre les objectifs territoriaux visés.

Leur éventuel réaménagement ne pourra être envisagé qu'avec des prescriptions strictes pre-



Exemple de friche (ancienne partie d'exploitation à ciel ouvert) en milieu péri-urbain.

nant en compte une organisation de l'urbanisation qui vise à minimiser les effets des aléas et à réduire le coût des dommages potentiels.

6.1.1.4 Autres types d'enjeux et d'activités

Parmi les autres enjeux à prendre en compte sur un site soumis à un aléa effondrement de cavités, il convient de prendre en compte les zones non urbanisées (parc, espaces verts, campings, terrains d'accueil nomades, terrains de sports...) qui pourraient recevoir régulièrement ou temporairement des activités exposant des populations.

Les établissements industriels et commerciaux doivent également être identifiés, autant sous un aspect d'exposition directe à l'aléa effondrement (et en particulier les surfaces de stockage et de parking associées aux structures bâties et qui sont rarement mises en sécurité) que sous l'angle de réduction de l'activité en cas, par exemple, de blocage des voies d'accès.

Enfin, dans le cas spécifique des risques d'effondrement, il peut arriver que certains secteurs de cavités, à l'origine du risque, soient, pour toute ou partie, occupés par des activités industrielles ou commerciales (champignonnières, musées, stockages, etc.). Ces espaces souterrains sont généralement surveillés et ont pu faire l'objet de confortements de mise en sécurité (de la simple maçonnerie au comblement de certaines zones évolutives). Il semble donc important que ces informations soient répertoriées et apparaissent dans l'analyse des enjeux.

6.1.2 Projets futurs

Il convient dans une seconde phase d'identifier, de manière aussi exhaustive que possible, les projets qui peuvent intéresser le périmètre concerné par le PPRN.

On retiendra en priorité ceux qui apparaissent dans les divers documents de planification de l'urbanisme : carte communale, PLU, SCOT, ZAC, et notamment ceux qui pourraient contribuer à augmenter les populations exposées et aggraver le risque.

Un travail avec les élus est essentiel, notamment dans les petites communes ne disposant pas de documents d'urbanisme planifiés, pour connaître les perspectives de développement envisagées, au moins dans le futur proche (quelques années).

6.1.3 Espaces non exposés d'intérêt stratégique

Il convient d'identifier les zones qui pourraient offrir des solutions alternatives d'aménagement à la construction sur les sites les plus exposés. Cette identification permettra de disposer d'éléments pour renforcer le dialogue avec les collectivités locales concernées.

Enfin, il faudra répertorier les espaces, par exemple forestiers, qui peuvent concourir à limiter, voir bloquer, les paramètres à l'origine d'un facteur aggravant comme le ruissellement d'eau vers des secteurs de cavités à faible profondeur.

6.2 - Exploitation des données

Dans le cadre des PPRN mouvements de terrain en général, et d'effondrements de cavités en particulier, la phase de définition des enjeux fait essentiellement l'objet d'un inventaire quantitatif et qualitatif portant sur l'existant et sur les projets d'aménagement futurs des territoires étudiés.

Cette approche se traduit ainsi souvent par une carte de localisation des principaux enjeux et d'occupation des sols.

De fait, la ponctualité (au sens extension) des phénomènes redoutés en surface, la connaissance détaillée de l'aléa (notamment en ce qui concerne son intensité), et les possibilités de mise en œuvre de mesures de prévention, de protection et de sauvegarde (confortement, comblement, surveillance) font que l'approche du zonage réglementaire et le choix des mesures visant à réduire, voire à supprimer le risque, s'inspirent principalement de l'analyse de l'aléa et de sa cartographie.

Néanmoins, l'utilisation de la phase d'appréciation des enjeux se justifie pleinement dans deux types de situations :

- lorsque des cavités, non ou mal répertoriées, sont disséminées sur l'ensemble d'un territoire exposé (marnières agricoles par exemple). On peut alors imaginer que les mesures de prévention et de réduction du risque s'appliquent, par défaut, sur les enjeux (existants ou en projet) les plus sensibles, d'où l'intérêt d'une hiérarchisation prenant en compte, en priorité, la vulnérabilité humaine;
- quand les cavités sont profondes avec des phénomènes redoutés du type affaissement. Les projets nouveaux peuvent alors être adaptés avec des mesures d'urbanisme (type de bâti) en appliquant des prescriptions constructives particulières.

Dans tous les cas il convient de retenir les critères spécifiques suivants :

1. L'analyse des enjeux existants doit considérer les différents types de constructions (ancienneté, fondations, géométrie...) pour pouvoir juger de leur tenue vis-à-vis des phénomènes redoutés. Cette approche, permet de considérer les possibilités de prescriptions sur l'existant, mais s'avère cependant délicate quand le bâti est hétérogène au sein d'un périmètre de risque ;
2. La réduction des risques s'obtient également par la prise en compte de la conception architecturale et structurelle des futurs ouvrages ou bâtiments, notamment par l'application de règles de construction. En zone à risque d'effondrement ou d'affaissement, la nature des fondations, le type

de structure projetée, et d'une façon générale les modalités d'implantation sur le site influent de façon significative sur la réponse du bâtiment en cas de désordre ;

3. Il est primordial que l'analyse des enjeux identifie les paramètres pouvant aggraver ou provoquer l'aléa en favorisant notamment la présence d'eau en sous-sol comme par exemple les surfaces étanches favorisant des ruissellements ou les réseaux mal dimensionnés ou dégradés engendrant des fuites ou des rejets non contrôlés ;

4. Il importe enfin de repérer les activités qui pourraient provoquer un « sur-accident » en cas de développement d'un effondrement à leur aplomb comme les réseaux de gaz enterré.

La connaissance des enjeux peut aussi mettre l'accent sur l'action anthropique à l'origine possible de prédispositions aggravantes (rejets non conformes dans les cavités, absence de branchement, vibrations liées au trafic routier).

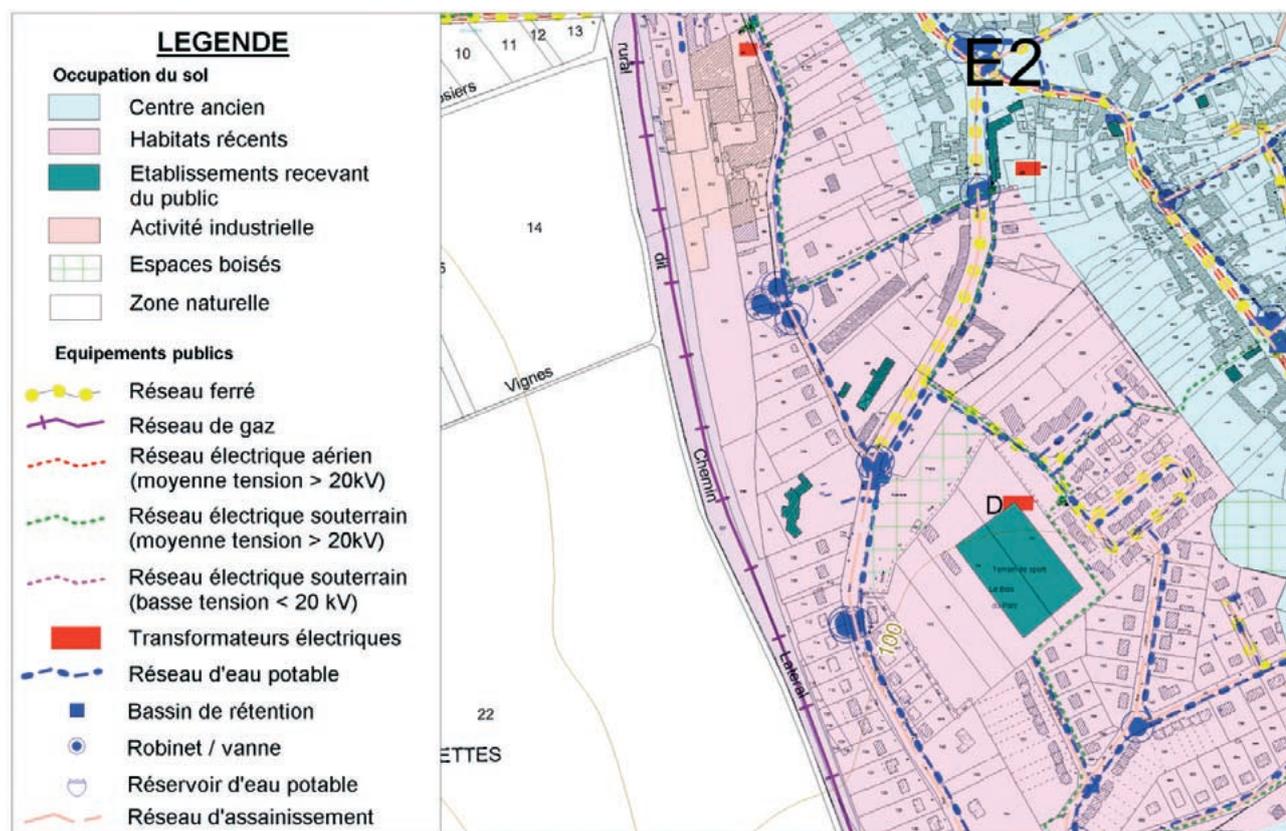
6.3 - Cartographie des enjeux

L'évaluation des enjeux doit rester globale et qualitative, par zone homogène, à l'image des études techniques. Elle doit être réalisée de préférence sur le même type de fond de plan et à la même échelle que la carte des aléas afin de faciliter la superposition.

L'utilisation d'un fond de plan IGN à l'échelle du 1:25 000^e agrandi au 1:10 000^e devrait normalement suffire à cet exercice. Pourtant, les caractéristiques de l'aléa conduisent régulièrement à utiliser de plus grandes échelles (par exemple le 1:5 000^e) pour comparer les deux documents.

Souvent, dans un souci de coopération avec les collectivités territoriales et pour exploiter au mieux les documents d'urbanisme existants, la décision est prise par le maître d'ouvrage d'utiliser le fond cadastral pour établir la carte des enjeux.

Comme pour la carte informative, l'utilisation d'un fond ortho-photo-plan permet une meilleure



Exemple de carte d'enjeux sur un fond cadastral.



Exemple de carte établie sur un ortho-photo-plan [BD ortho de l'IGN].

visualisation des enjeux et souvent favorise la concertation avec les élus et les populations exposées.

Cette carte peut être complétée, si nécessaire, par des fiches descriptives sommaires. Les circonstances locales pourront également conduire à établir plusieurs cartes spécifiques. Ainsi, en présence de phénomènes potentiellement dangereux pour l'homme, il importe de localiser les populations effectivement exposées, de façon permanente ou temporaire.

Le report cartographique se fera sous forme ponctuelle (localisation d'un équipement sensible etc.), linéaire (axe de communication facilitant l'intervention des secours etc.) ou zonale (zones économiques à protéger, etc.). Les ouvrages de protection et les travaux de confortement connus peuvent y être localisés. Les données retranscrites seront cependant limitées au strict nécessaire afin de ne pas complexifier la lecture d'un document qui serait trop détaillé. Par ailleurs, le nombre et la diversité des enjeux à reporter et le souci

de réaliser une carte facile à comprendre pour un non initié conduiront à recourir à la couleur.

L'établissement de cette carte, identique quels que soient les risques pris en compte, permettra d'évaluer les conséquences potentielles pour les personnes, les biens et les activités, de justifier la cartographie réglementaire et de définir les mesures de prévention les mieux adaptées aux enjeux.

Ces documents cartographiques ne sont pas exigés par les textes. Ils constituent cependant une base pertinente de réflexion et d'échanges avec les collectivités et les habitants concernés et méritent, de ce fait, d'être portés en annexe de la note de présentation.

7 - Démarche réglementaire

Cette approche représente la partie finale, mais aussi l'objectif principal du Plan de Prévention des Risques. Les documents établis, notamment les mesures réglementaires, sont réalisés sous la responsabilité directe de la Préfecture, maître d'ouvrage [§ 2.4].

Le présent document n'a pas pour ambition de détailler la manière d'élaborer ces pièces. Pour les détails, on se reportera aux différents guides publiés à la Documentation française ou au Cahier de recommandations sur le contenu des PPRN⁷.

En revanche, le parti a été pris de présenter, ci-après, quelques spécificités relatives au risque « effondrement de cavités souterraines » pour proposer des mesures simples et adaptées, en adéquation avec l'esprit du PPRN.

7.1 - Note de présentation

La note réglementaire a pour fonction d'expliquer et de justifier, en toute transparence, la démarche et le contenu du PPRN auprès des citoyens et des élus mais aussi du juge en cas de contentieux. En effet, la jurisprudence montre l'attention du juge sur la justification de la démarche PPRN et des décisions réglementaires prises au travers de la note de présentation.

Elle doit être rédigée avec le plus grand soin, avec le souci de conduire une démonstration rigoureuse et aisément compréhensible, fondée sur une argumentation logique et étayée, afin de convaincre les acteurs de la prévention de la nécessité de la démarche et des décisions qui en résultent. Elle doit également être bien structurée, claire, illustrée et pédagogique.

7.1.1 Champs obligatoires de la note

Il est important de rappeler l'ensemble des points devant être traités.

7.1.1.1 Raisons de la prescription du PPRN

La note exposera les motifs qui ont conduit à la prescription du PPRN. Si cette prescription a pour objet la révision d'un document antérieur, on justifiera les raisons de la révision (effondrement imprévu dans une zone définie comme non sous-cavée, évolution accélérée de certains phénomènes, porté à connaissance de nouveaux plans d'exploitation ou accroissement notable de la vulnérabilité, etc.) et les améliorations qui sont recherchées.

7.1.1.2 Secteur géographique et contexte géologique

Le choix des limites du bassin de risques et du périmètre d'étude est justifié par une description succincte des différents contextes géologique, historique et physique, susceptibles d'engendrer les aléas.

La description doit être menée en recourant à un vocabulaire accessible à des non-spécialistes et en renvoyant, le cas échéant, à des références bibliographiques ou lexicales. Le choix des limites du PPRN sera également explicité s'il ne recouvre qu'une partie d'un bassin de risque ou du territoire d'une commune, en s'appuyant sur les priorités définies par le préfet.

7.1.1.3 Historique et phénomènes connus

Il s'agit de présenter tous les documents et événements antérieurs au PPRN qui ont permis la prise en compte, voire l'affichage d'un niveau de risque.

Les événements passés, connus ou supposés seront décrits à partir de l'enquête pratiquée

7 - Cahier de recommandations sur le contenu des PPRN - Document édité par le Ministère de l'Écologie, du développement et de l'aménagement Durables - Janvier 2006.

au travers des archives, des témoignages et des reconnaissances de terrain. Ils devront mettre en évidence la probabilité de présence de cavités au sein du territoire défini et démontrer le bien fondé d'un affichage du risque de mouvement de terrain en surface.

7.1.1.4 Qualification de l'aléa

Les caractéristiques physiques et la prédisposition à la survenance des aléas sont particulièrement importantes à commenter dans la mesure où elles conditionnent l'ensemble de la réglementation mise en place.

La note doit définir les « règles du jeu » retenues pour conduire l'étude d'aléa en faisant la part des certitudes, des incertitudes, en particulier sur les contours des cavités, et en précisant les hypothèses retenues. Cette partie doit être rédigée en recourant à un vocabulaire simple et accessible à un public non initié.

7.1.1.5 Qualification des enjeux

L'analyse des enjeux va permettre d'identifier, voire de mesurer, les risques vis-à-vis de l'occupation du sol actuelle et des projets. Elle représente le second champ de référence à partir duquel les choix réglementaires sont, en principe, effectués. La note de présentation doit décrire, par zone homogène, la nature des enjeux humains, socio-économiques et environnementaux.

Elle doit également rappeler les notions de vulnérabilité humaine et économique et identifier les aménagements susceptibles d'aggraver l'aléa (réseaux d'eau) ou de déclencher un sur-accident (rupture d'une canalisation de gaz, par exemple).

7.1.1.6 Zonage réglementaire et règlement

Le plan de zonage réglementaire est le document cartographique de référence qui permet de localiser géographiquement les zones homogènes dans lesquelles s'appliquent les différentes dispositions retenues.

La note doit présenter la stratégie de zonage du PPRN, à partir des choix qui ont été faits dans

le contexte local. Elle rappelle les principes de réglementation qui fondent la démarche, tels que l'interdiction de construire dans les zones d'aléa fort, la prescription de mesures pour les projets nouveaux dans les autres zones exposées aux risques, la préservation de certains espaces naturels permettant de mieux maîtriser les risques. Les critères conduisant à cette délimitation et les éléments de la concertation avec les collectivités doivent être explicités.

7.1.2 Éléments complémentaires

La note de présentation peut répertorier, en tant que besoin, des informations qui participent au suivi possible des phénomènes et la cohérence du projet de PPRN.

On retiendra notamment :

- la présentation d'éventuels travaux de confortement, programmés ou réalisés, les possibilités de surveillance, d'alerte et de protection des lieux habités ;
- le bilan de la concertation qui a été engagée, aussi bien sur le plan technique que lors de l'élaboration du zonage réglementaire en rappelant les différents acteurs locaux et nationaux ;
- la description des moyens relativement légers ou non-structurels, mais qui ne peuvent être rendus obligatoires aux collectivités dans le cadre du PPRN, comme par exemple :
 - la réunion, en tant que de besoin, d'une commission de sécurité consultative par le Maire ;
 - l'information, permanente ou circonstancielle, de la population sur le risque et les précautions à prendre ;
 - la signalisation du danger sur le terrain.

Il est enfin appréciable que cette note de présentation comprenne un « résumé non technique » à l'instar des études d'impact pour présenter aux populations exposées les principales démarches. L'expérience montre qu'il s'agit souvent de la seule partie du document véritablement consultée par le public, avec le règlement.

7.1.3 Insertion des cartes techniques

Dans un souci de pédagogie et de transparence, les différentes cartes techniques réalisées (informatives, aléas, enjeux) seront jointes à la note de présentation afin d'apporter tous les éléments de compréhension aux choix réglementaires qui ont été faits.

Cependant, la lisibilité de ces cartes risque d'être considérablement dégradée dès lors qu'elles sont réduites au format A4 ou A3. Il sera préférable, dans ce cas, de les joindre à part, à un format adapté à une lisibilité optimale, en indiquant bien qu'il s'agit d'annexes à la note de présentation.

7.2 - Zonage réglementaire

Le zonage réglementaire a pour objectif de délimiter des zones homogènes en termes de prescriptions et d'interdictions vis-à-vis de l'usage du sol, tant pour ce qui concerne les projets nouveaux que les biens existants. Les principes de ce zonage s'appuient notamment sur une confrontation entre les différents niveaux d'aléas préalablement identifiés et l'appréciation des enjeux existants et futurs caractérisant la surface.

L'identification de ces zones homogènes se traduit par l'élaboration d'une cartographie du zonage réglementaire du PPRN.

Directement relié à ce zonage, un règlement est établi. Il a pour objet d'énoncer, de manière claire et opérationnelle, les mesures réglementaires qui s'appliquent à chacune des zones délimitées précédemment.

Le plan de zonage réglementaire constitue le document cartographique de référence qui permet de localiser géographiquement les zones homogènes au sein desquelles s'appliquent les différentes dispositions retenues.

Il se situe, de ce fait, au cœur de la concertation entre les différents acteurs de la prévention des risques (services de l'Etat, collectivités, associations, etc.). Il est vivement conseillé que son élaboration se fasse avec l'assistance technique de l'expert chargé de la qualification des aléas.

À l'issue des études techniques, il est déjà possible d'établir un document cartographique, croisant directement la carte d'aléa et celle des enjeux. Il diffère peu du zonage réglementaire définitif mais permet de disposer d'un document de travail utilisable dans le cadre de la concertation avec les élus et qui a le mérite de pouvoir être discuté sans remettre en cause la suite de la procédure.

7.2.1 Principes généraux de délimitation des zones

Le zonage réglementaire délimite les zones homogènes dans lesquelles sont applicables des interdictions, des prescriptions réglementaires et/ou des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

Le zonage réglementaire doit être adapté aux situations locales, résulter d'une démarche rigoureuse, être lisible et compréhensible par tous. Le nombre de zones doit correspondre au nombre de zones de réglementations homogènes. Quels que soient les choix faits, il convient de rappeler qu'en application de l'article L.562-1 du Code de l'environnement, le PPR ont pour objet, en tant que de besoin, de délimiter les zones exposées aux risques, dites «zones de danger», en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, et de délimiter les zones, dites «zones de précaution», qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux.

Conventionnellement, ces zones sont identifiées en fonction de l'aléa et d'abord définies sur des critères de constructibilité et de gestion de l'espace et notamment dans le cas des cavités, en fonction des mesures potentiellement efficaces pour la protection des personnes et des biens.

A ce titre, on peut distinguer, pour les zones directement exposées, trois grandes catégories :

1. les zones d'aléa fort au sein desquelles les mesures d'urbanisme interdisent toutes nouvelles

constructions (**zones inconstructibles**), de par la gravité prévisible des phénomènes redoutés, de l'ampleur ou de la profondeur des vides détectés. Aucune mesure de prévention et de protection relevant des particuliers ne peut y être raisonnablement envisagée (coût, techniques...) au regard des enjeux de surface existants ou à venir.

Des dérogations à la règle générale peuvent toutefois être retenues pour réaliser des ouvrages nécessaires au fonctionnement des missions de service public, des travaux permettant de réduire la vulnérabilité ou tout aménagement exceptionnel dont l'ampleur permettrait de justifier la mise en sécurité définitive du site. Parfois, des dérogations peuvent également concerner l'extension et l'aménagement de bâtiments existants, moyennant des protections adaptées, essentiellement en milieu urbanisé, et ceci avec un coefficient d'emprise au sol limitatif ;

2. les zones d'aléa moyen sont généralement définies comme **inconstructibles** en l'absence d'enjeux avérés, dans les zones non urbanisées. Dans les zones déjà urbanisées, lorsque l'intensité des phénomènes redoutés est compatible avec le type d'occupation du sol et que la réduction de l'aléa s'avère envisageable (traitement de cavités reconnues à faible profondeur, facilement accessibles...) les zones peuvent être désignées comme **constructibles moyennant le respect de prescriptions**. Toutefois, les prescriptions édictées peuvent s'avérer onéreuses (comblement, pieux, géotextiles, etc.) et difficiles à mettre en œuvre à l'échelle d'un seul particulier.

3. les zones de niveau d'aléa faible où les implantations nouvelles sont généralement autorisées (zones **constructibles moyennant le respect de prescriptions**), mais qui restent toujours soumises à des prescriptions urbanistiques, constructives ou d'exploitation et pour lesquelles les mesures de prévention sont primordiales et définissent notamment des reconnaissances géotechniques préalables.

Dans le cadre des risques liés aux cavités souterraines, l'identification des zones homogènes, en

termes d'urbanisme et de dispositions constructives, **reste très lié au contexte local** de définition du niveau d'aléa (et en particulier aux incertitudes sur les contours des vides) et aux contraintes spécifiques de la gestion de concentrations urbaines (activités, contraintes urbanistiques et architecturales, gestion de l'habitat et des commerces, etc).

Ainsi, exceptionnellement, dans les secteurs non urbanisés soumis à un aléa moyen, des projets concertés d'aménagement et de développement peuvent être réalisés. Ils sont alors soumis à des prescriptions (règles d'urbanisme ou de construction) contraignantes en rapport avec l'extension et la configuration des cavités.

7.2.2 Démarche de zonage

Le projet de zonage proprement dit est donc conduit en retenant, comme premier critère sur les règles d'urbanisme et de construction, le niveau de l'aléa de référence (prédisposition et intensité du phénomène maximal redouté). Cette approche est ensuite confrontée avec les particularités locales et de s'assurer de leur cohérence, en particulier :

- dans les centres urbains ou périurbains, où la transcription du zonage cherchera à éviter une dévalorisation du site en surface en privilégiant des aménagements adaptés aux phénomènes redoutés ;
- lorsque des possibilités alternatives d'urbanisation existent et que la volonté de développement à l'échelle communale ou intercommunale peut conduire à opter pour un gel des constructions même dans les espaces urbanisés.

Sur certains sites, le zonage réglementaire peut répertorier l'existence de dispositifs de surveillance ou des travaux de mise en sécurité (secteurs comblés, vides entretenus et confortés).

Dans le cas d'ouvrages souterrains confortés simplement (piliers maçonnés, remblayage partiel,...) ou assujettis à une surveillance (même régulière et efficace), il convient de juger ces sites comme restant soumis aux phénomènes

Tab. 7 - Zonage réglementaire : principes généraux de délimitation

Aléa de référence	Espaces non urbanisés	Espaces urbanisés	
		Cavités connues	Cavités supposées
Fort <ul style="list-style-type: none"> • Phénomènes d'effondrement brutaux • Cavités importantes • ... 	Inconstructible	Inconstructible Dérogations possibles pour mise en sécurité et aménagement limité sur l'existant	Inconstructible Mesures de reconnaissance sur l'existant
Moyen <ul style="list-style-type: none"> • Cavités à faible profondeur • Phénomènes en surface limités • ... 	Inconstructible (exceptionnellement constructible sous conditions)	Constructible sous réserve de prescriptions	Constructible sous réserve de reconnaissance et de prescriptions
Faible	Généralement constructible sous réserve de reconnaissances et éventuellement de prescriptions		

étudiés (pas de différence dans la démarche de zonage réglementaire).

En revanche, pour les vides totalement remblayés, il est possible de considérer, sous certaines conditions (qualité des travaux et niveau de contrôle approprié, superficie traitée...) et, à l'inverse des digues protégeant les zones inondables, que la mesure de protection présente un niveau de sécurité et de fiabilité pérenne.

Il est alors raisonnable d'identifier, lors de la phase de cartographie réglementaire, les secteurs concernés. Cette différenciation s'effectuera cependant sous certaines conditions :

- techniques, en disposant de documents récents fiables sur la conception et l'extension des travaux de mise en sécurité, ainsi que sur l'importance du risque résiduel (tassements...);
- cartographiques, en considérant uniquement les zones réellement traitées et leur influence en surface. La prise en compte des travaux n'a d'intérêt que si la superficie est suffisamment importante pour permettre une visualisation à l'échelle du document (éviter le pointillisme);
- administratives, car il convient de maintenir une vigilance minimale dans le temps et donc de différencier ce secteur des zones non exposées.

Ces secteurs ne nécessiteront alors pas (ou plus) l'établissement d'interdictions ou de prescriptions limitant, a priori, la constructibilité.

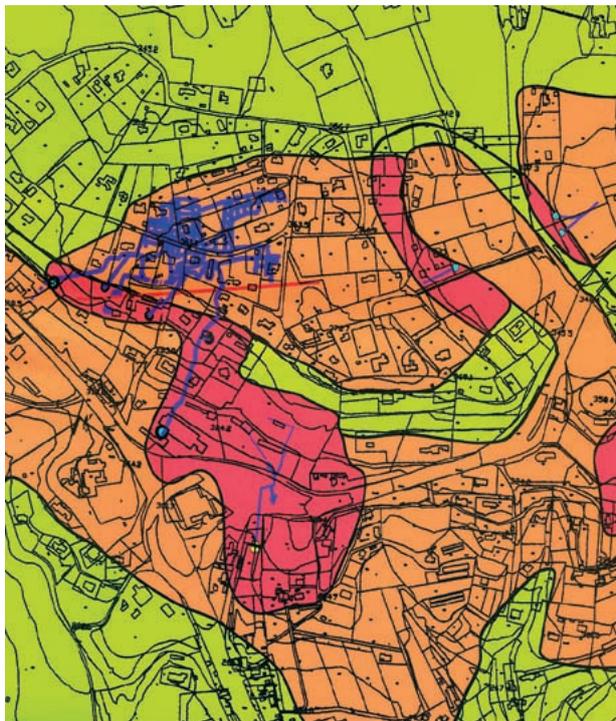
Lorsque l'information est disponible, il convient seulement de perpétuer la mémoire du risque en informant les professionnels de la construction (notamment les maîtres d'œuvre et les entrepreneurs) et les maîtres d'ouvrage, de la présence de ces zones et des travaux qui y ont été réalisés (dispositions d'information).

La réalisation des contours de zones réglementaires nécessite une démarche de reconnaissance sur site, sachant que la qualification des aléas peut être entachée d'incertitudes et que le zonage repose sur des informations conventionnelles pas toujours en adéquation avec la réalité du site.

Sur l'exemple ci-après [voir également annexe 1], on note que le zonage réglementaire se différencie de la hiérarchisation de l'aléa, d'une part, en identifiant précisément les contours des exploitations connues et, d'autre part, en distinguant les enjeux de surface (centres urbanisés ou soumis à des pressions foncières importantes).

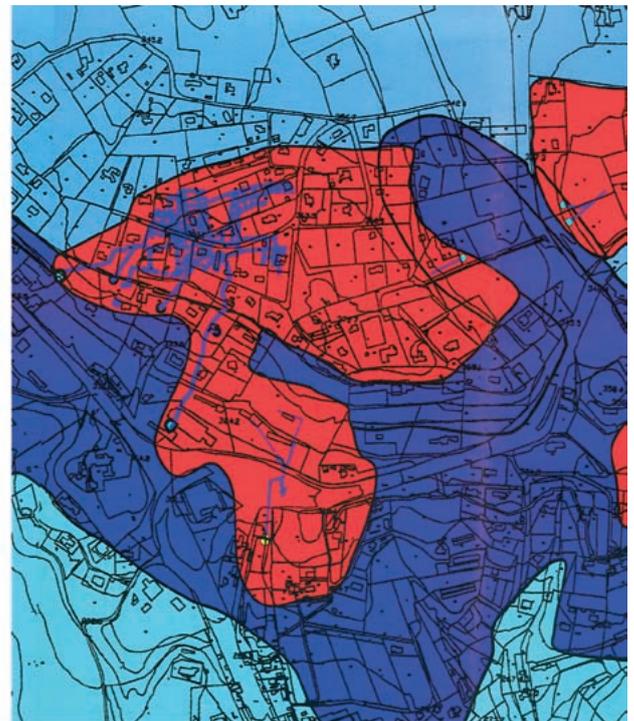
7.2.3 Éléments pratiques de cartographie

Le PPRN est annexé au PLU, lorsqu'il existe. Le choix de l'échelle pertinente, au-delà du 1:25 000^e agrandi au 1:10 000^e habituellement recommandé, dépend du niveau de précision de l'évaluation de l'aléa et des enjeux concernés. Dans le cas des cavités souterraines, où une connaissance fine est parfois possible, un zonage à l'échelle du plan cadastral peut être recherché. Il convient néanmoins de rappeler que si la carte de



Zonage de l'aléa
[légende simplifiée]

 Aléa fort	 Faille
 Aléa moyen	 Galeries
 Aléa faible	
 Aléa négligeable	



Zonage du risque
[légende simplifiée]

 R	 Faille
 B3	 Galeries
 B2	
 B1	
 B0	

Exemple de zonage réglementaire différent (droite) des contours issus de la cartographie de l'aléa (gauche).

zonage réglementaire doit permettre la localisation des biens concernés par sa réglementation, il n'appartient pas à l'État d'établir le support du document d'urbanisme à l'échelle du cadastre. C'est à la collectivité en charge de l'urbanisme de traduire le zonage de la servitude d'utilité publique à l'échelle cadastrale.

La réalisation des contours, notamment dans les secteurs urbanisés, doit présenter une qualité convenable en terme d'épaisseur des traits et rester corrélable avec l'échelle du document (une épaisseur de 1 mm représente 5 m sur le terrain pour des plans au 1:5 000^e, et 1 mm représente 10 m, la largeur d'une maison, sur un plan au 1/10:000^e).

Les limites de zones réglementaires s'appuyant en premier lieu sur l'analyse de l'aléa, il n'y a pas lieu de tenir compte du découpage parcellaire dans la réalisation du zonage ou de déplacer les limites de zones d'aléas pour épouser les limites

des parcelles cadastrales lors de la transcription du fond topographique sur le fond parcellaire. Dans les cas où les contours des cavités sont connus, les marges de recule, prises en surface sont lissées autour des indices de vides.

On notera que les dernières techniques informatiques (documents établis à partir de SIG) permettent des réalisations et des reproductions (parfois nombreuses) très «présentables» en termes de contours et de couleurs.

S'il est intéressant d'utiliser un fond photographique (photo aérienne) lors des phases d'information ou d'enjeux, son adoption comme fond du zonage réglementaire est plus délicate, compte tenu des disparités existantes avec le cadastre (limites parcellaires ne correspondant pas toujours avec les vues aériennes) qui reste, dans la plupart des cas, la référence en matière de gestion cartographique du PPRN.

La transcription à un document d'urbanisme pourra en plus poser des problèmes lorsque, par exemple, une même parcelle est divisée entre une zone inconstructible et une zone constructible sous conditions, voire non exposée. Il est alors de la responsabilité de la collectivité de décider du classement de la parcelle dans le document d'urbanisme.

Par convention, la couleur rouge est adoptée pour les zones inconstructibles et la couleur bleue pour les zones constructibles moyennant le respect de prescriptions. Si, au sein de ces deux catégories, il est besoin d'individualiser des zones homogènes en terme de prescriptions, soit parce qu'elles sont exposées à d'autres risques, soient parce que les mesures adaptées sont différentes ou incompatibles, on décline les couleurs dans les tons retenus et on peut y ajouter une référence alphanumérique (R1, R2, B1, B2, etc.). Il est toutefois recommandé, pour la compréhension du document cartographique (et du règlement) de limiter, au strict minimum ces zones réglementées.

Enfin, une couleur spécifique peut être réservée aux secteurs non directement exposés mais qui doivent être réglementés afin de ne pas aggraver les risques. Cette approche est plutôt rare pour le risque effondrement car les facteurs susceptibles d'aggraver l'aléa se situent principalement dans l'emprise connue ou supposée des cavités.

Il peut toutefois être judicieux de repérer et de consigner certaines zones en amont ou en aval des cavités pour lesquelles une modification conséquente des conditions hydrauliques (étanchéification en surface, canalisation des ruissellements ou pompage de la nappe superficielle) entraînerait une évolution rapide de l'instabilité des ouvrages.

7.3 Règlement

Le règlement constitue l'une des contributions majeures de la procédure engagée et doit être conçu pour être appliqué le mieux possible dans une démarche de prévention et d'évolution des connaissances.

Le plan de référence s'appuie sur le contenu de l'article L.562-1 du Code de l'environnement. L'organisation générale doit clairement établir le rappel des dispositions générales, une réglementation pour les projets nouveaux, les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde s'appliquant au risque concerné et la définition de mesures adaptées aux biens et activités existants.

Toutefois, la structure de ce document n'est pas figée et selon les contraintes techniques induites par le risque pris en compte ou les résultats des phases de concertation avec la collectivité locale, il est possible de modifier le plan pour tenir compte du contexte local et notamment pour favoriser la lisibilité des prescriptions applicables. Ainsi, notamment pour le cas d'un PPRN multirisque de mouvements de terrain (éboulement, effondrement, glissement), l'articulation des différentes mesures réglementaires peut être difficile à comprendre pour des non-spécialistes et l'adjonction au règlement d'un «résumé» des actions à mener, zone par zone, peut être proposée sous la forme d'un «plan d'action» ou d'un tableau synoptique.

Dans tous les cas, les dispositions réglementaires ont pour objectifs d'améliorer la sécurité des personnes et limiter la vulnérabilité des biens et des activités dans les zones exposées. Dans le domaine particulier que constituent les effondrements de terrain, il est généralement possible de proposer des mesures réalistes en terme d'applicabilité réglementaire, technique et même financière pour réduire, voire supprimer, l'aléa en agissant à la source, essentiellement sur la ou les cavité(s). Celles-ci doivent :

- différencier sans ambiguïté les périmètres réglementés et identifier les diverses prescriptions et mesures applicables ;
- être compréhensibles par tous, populations exposées, personnes et institutions consultées au cours de la procédure, élus et techniciens des collectivités en charge de la gestion du PPRN, architectes et bureaux d'études qui seront amenés à prévoir et réaliser les reconnaissances et les travaux ;

- être adaptées et rendues facilement applicables aux configurations des cavités rencontrées.

7.3.1 Dispositions générales

Le champ d'application définit les objectifs du PPRN, la dénomination et les principes du zonage. Il est important, à ce stade, de rappeler les critères qui ont conduit à délimiter les zones (configuration des vides, incertitudes, marges de reculement...) car la plupart des règles d'urbanisme et de construction édictées dans le règlement vont directement en dépendre.

L'article (ou les articles) relatif aux effets du PPRN doit bien indiquer que la procédure peut être révisée et selon quelles bases. Dans le cas des cavités notamment, la découverte de nouveaux vides ou, à l'inverse, le traitement de tout ou partie des ouvrages souterrains peuvent, en effet, donner lieu à une modification suffisante du zonage réglementaire pour entreprendre une révision partielle ou totale du PPRN.

Les dispositions du PPRN complètent souvent d'autres réglementations en vigueur qu'il convient de rappeler. Parmi celles pouvant avoir un lien avec le risque mouvement de terrain (Code civil, Code forestier...), il est particulièrement nécessaire de citer :

- la propriété du sous-sol [voir chapitre 2] et donc la responsabilité vis-à-vis du risque engendré au sein de la parcelle et éventuellement au-delà, en cas d'effondrement ;
- la loi sur l'eau relative à la gestion des eaux usées. La maîtrise de ces effluents donne souvent lieu à des prescriptions, pour certaines à caractère obligatoire ;
- le régime juridique des eaux pluviales fixé pour l'essentiel par les articles 640, 641 et 681 du code civil, qui définissent les droits et devoirs des propriétaires fonciers à l'égard de ces eaux.

Si pour les travaux, il est plus efficace de rappeler l'obligation de respecter les « règles de l'art », au jour de la délivrance du permis de construire,

on peut par ailleurs retenir pour les études et reconnaissances quelques références offrant une certaine efficacité vis-à-vis des mesures de prévention prescrites.

- « *les investigations sont menées avec les moyens appropriés par un organisme possédant des qualifications spécifiques dans la maîtrise des techniques permettant d'appréhender le comportement des sols et massifs rocheux* »⁸;
- « *les études géotechniques devront être menées dans le cadre de la norme NFP 94-500, définissant clairement les types de diagnostic, d'études de projets et de suivi des travaux de mise en sécurité* ».

Enfin, la définition et la prescription de mesures posent, dès la phase de rédaction, le problème du contrôle *a posteriori* de leur application en termes de date butoir et de compétences (technique et administrative) du vérificateur. Le règlement doit clairement identifier les règles pour lesquelles un contrôle sera mis en œuvre et rappeler la responsabilité du maître d'ouvrage (quel qu'il soit).

7.3.2 Dispositions applicables aux nouveaux projets

Il s'agit de dispositions qui s'appliquent au futur et qui constituent la raison principale d'un règlement. Elles doivent donc faire l'objet d'une attention particulière dans leur définition et leur possibilité d'application.

7.3.2.1 Dispositions relatives à l'Urbanisme

Les mesures d'interdiction (**zones inconstructibles**) sont réservées à des terrains sous-cavés présentant un niveau d'aléa fort à très fort et correspondant souvent à des ouvrages souterrains difficilement traitables (gros volumes, grande profondeur) à l'échelle d'enjeux existants. Elles peuvent également être appliquées aux secteurs potentiellement sous-cavés où il n'existe aucun enjeu.

Le plus souvent, il s'agit de projets à usage privé établis sur un parcellaire limité et représentant un faible coût en regard des investissements nécessaires pour des travaux de sécurisation. Dans le cas

8 - Ces phrases en italique (et celles des pages suivantes) restent des propositions de règlement.

d'habitations particulières, cette approche restrictive peut être renforcée par la difficulté d'étendre les travaux de réduction de l'aléa (par exemple comblement) à l'ensemble d'une propriété sous-cavée (rappelons que les derniers accidents mortels connus - massif de l'Hautil et Normandie - ont eu lieu en dehors de l'habitation).

Pour éviter de bloquer toute activité dans ces zones, il est toutefois possible de pondérer les mesures d'interdiction en rendant possible, sous certaines conditions, le contrôle et l'entretien des infrastructures et équipements nécessaires au fonctionnement des services d'intérêt général (réseaux de desserte, réservoir d'eau, etc.) ou au maintien d'activités qui contribuent à la gestion du territoire, notamment les activités agricoles ou forestières.

Par ailleurs, les travaux de démolition ou de réparation d'un bâtiment (à condition que la cause des dégâts n'ait pas de lien avec le risque) ne font normalement pas l'objet de mesures d'interdiction.

Dans les secteurs identifiés comme **constructibles moyennant le respect de prescriptions**. Les dispositions d'urbanisme autorisent aménagements ou constructions, mais selon les cas, les conditionnent au respect de prescriptions adaptées. Quand elles portent sur des critères urbanistiques, elles peuvent alors être contrôlables dans le cadre de la délivrance d'une autorisation d'urbanisme (permis de construire, déclaration de travaux, autorisation de lotir) et du certificat de conformité.

L'article R.431-16⁹ du Code de l'urbanisme, inséré par le décret n°2007-18 du 5 janvier 2007 stipule que la demande de permis de construire contient « *lorsque la construction projetée est subordonnée par un PPRN (...) à la réalisation d'une étude préalable (...) une attestation établie par l'architecte du projet ou par un expert agréé*

certifiant la réalisation (...) et constatant que le projet prend en compte ces conditions au stade de la conception ». Dans les secteurs supposés sous cavés, les mesures réglementaires pourront donc demander aux propriétaires des investigations destinées à vérifier ou infirmer la présence de cavités à l'origine des risques.

Il est de toutes façons indispensable que, lors de la délivrance d'une autorisation (de construire, de lotir, etc.), l'autorité compétente en la matière indique au maître d'ouvrage, par note distincte, les dispositions du PPRN qu'il lui appartient de respecter.

7.3.2.2 Études techniques spécifiques

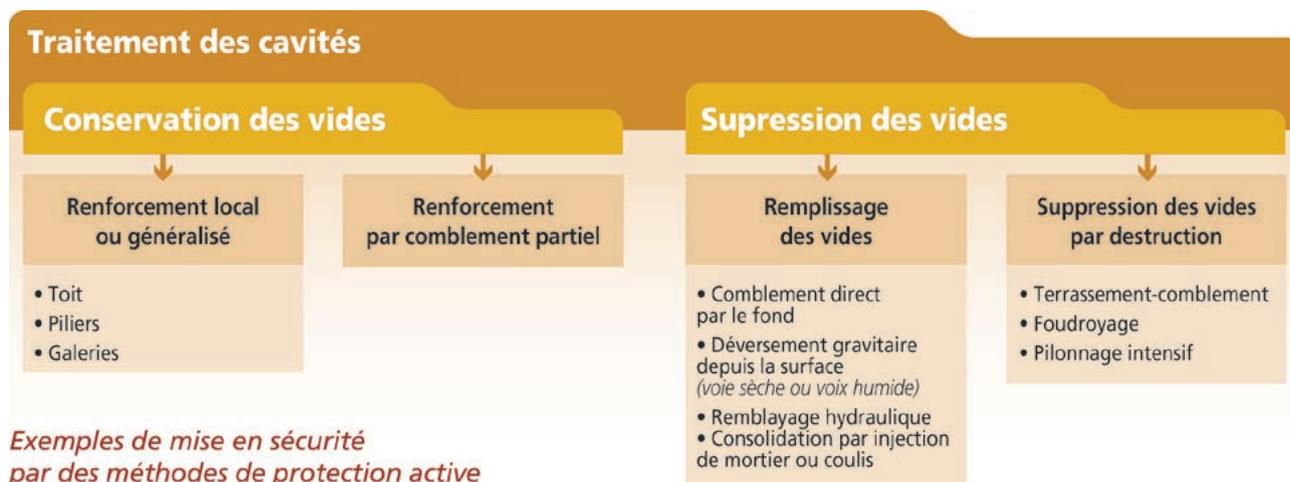
Ces dispositions peuvent donc être rendues obligatoires pour les projets mais elles doivent toujours être prescrites en fonction de l'objectif recherché. En effet, certaines méthodes ne peuvent fournir que des résultats imparfaits et il est difficile de figer, dans le cadre d'un règlement, la nature précise de ces techniques d'investigation.

Il est donc préférable de fixer des règles minimales portant sur la gamme de profondeur et la configuration des cavités recherchées de manière à ce qu'un maître d'ouvrage ne mette pas en œuvre des reconnaissances inappropriées (par exemple, un sondage à 3 m pour rechercher des galeries isolées dans une formation rocheuse située à une dizaine de mètres de profondeur).

• « *une étude appropriée du terrain destiné à recevoir le projet d'aménagement sera mise en œuvre afin de s'assurer de la présence ou non de vides naturels ou artificiels non reconnus, dans l'emprise directe et aux alentours immédiats de la structure. Cette reconnaissance doit être suffisamment profonde (profondeur minimale égale à X m) et resserrée pour s'assurer de l'absence d'anciennes cavités isolées de Y m de diamètre et Z m de hauteur situées au sein de la formation géologique concernée* »;

• « *lorsque les cavités sont connues et accessibles dans les limites du secteur concerné, un examen et une exploration des indices d'exten-*

9 - Application prévue à l'automne 2007. Pour l'instant, en zone constructible, les autorités n'ont pas lieu d'exiger la production d'une étude à l'appui d'une demande de permis de construire, et encore moins d'en vérifier les résultats. Une telle exigence est contraire au principe de l'article R. 421-2 du code de l'urbanisme qui fixe limitativement la liste des pièces à fournir.



« sion possible des cavités situées à l'aplomb ou à l'intérieur de la marge de sécurité du projet d'aménagement sont prescrits ».

7.3.2.3 Dispositions constructives applicables

Un choix argumenté et concerté est d'autant plus important que, dans le cas des cavités, la bonne application de ces dispositions, au sein des secteurs définis comme **constructibles moyennant le respect de prescriptions**, peut aboutir à supprimer l'aléa dans les secteurs exposés. Ces règles, dont l'application reste de la responsabilité du maître d'ouvrage, peuvent porter sur :

- le traitement de tout ou partie de la cavité à l'origine de l'aléa. Des études géotechniques peuvent alors être prescrites pour déterminer les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation des projets autorisés ;
- les conditions de réalisation des ouvrages autorisés en surface : matériaux, fondations, structure, etc. qui relèvent des « règles particulières de construction » proprement dites, telles que mentionnées à l'article R 126-1 du code de la construction et de l'habitation.

En fait, le choix des dispositions constructives dépend moins du niveau d'aléa affiché que de l'intensité du phénomène redouté en surface, donc de la configuration des vides à l'origine du risque, et de la nature des projets.

Divers guides et documents à caractère méthodologique¹⁰ existent pour aider les maîtres

d'ouvrages ou leurs représentants à apprécier les mouvements de terrains en surface et retenir telle ou telle méthode de traitement.

Le document réglementaire doit donc s'attacher à guider le maître d'ouvrage dans sa démarche de mise en sécurité, sans pour autant exiger telle ou telle technique à proprement parler (injection de coulis plutôt que comblement gravitaire, béton projeté plutôt que maçonnerie, radier plutôt que chaînage des fondations...).

Les mesures de traitement direct des cavités reconnues font appel à des techniques de comblement ou de confortement selon que la destination finale des vides est la conservation (volonté de réaménagement des cavités) ou la suppression dans le but d'un aménagement pérenne des terrains en surface.

- « pour les terrains situés à l'aplomb des cavités reconnues ou dans l'emprise directe de leur marge de recule, il est prescrit un traitement des vides permettant de restituer au sous-sol ses caractéristiques mécaniques compatibles avec l'usage futur des terrains de surface ».

Il existe également des **dispositions techniques qui ne s'opposent pas directement** aux phénomènes et dont l'objectif est de limiter l'impact des effondrements sur les enjeux. Ces mesures

10 - On retiendra notamment les guides techniques INERIS à paraître : Méthodes de mise en sécurité des populations face aux risques d'effondrement de cavités souterraines et Recommandations pour l'évaluation et le traitement des conséquences des mouvements du sous-sol sur le bâti.

techniques peuvent s'appliquer, dans des zones potentiellement sous-cavées ou lorsque les cavités sont de faible ampleur, pour des projets limités (pavillons) ou des bâtiments plus importants.

Ces méthodes, qui ne présentent pas toujours des conditions d'applicabilité aisées (en terme de coût de travaux et de réalisation), concernent classiquement les techniques de renforcement des fondations (micro-pieux, chaînage, radier...). Pour les voies ou les abords des bâtiments, il est également possible d'orienter le maître d'ouvrage vers des techniques plus récentes basées sur la pose de géotextiles ou de géogrilles, destinés à limiter les effets des désordres en surface.

- « *sont autorisées toutes constructions, installations et occupations du sol nouvelles, sous conditions de respect de dispositions constructives adaptées permettant à la structure de supporter des tassements différentiels de l'ordre de plusieurs centimètres sans subir de dommages et de dégradations* ».

7.3.2.4 Recommandations

S'il convient de limiter les mesures qui n'ont pas de valeur réglementaire, certains points peuvent néanmoins être précisés pour que les travaux réalisés présentent un niveau d'efficacité satisfaisant et qu'ils évitent une dégradation de l'environnement immédiat du site.

Dans le cas des cavités souterraines, les prescriptions relatives aux études et travaux peuvent ainsi être complétées par des recommandations.

- « *il est recommandé pour le maître d'ouvrage de se faire assister par un maître d'œuvre ou par un (ou plusieurs) bureau(x) d'études spécialisés dans la conception, la définition et le contrôle des travaux de construction et d'aménagement de toutes natures et de leurs abords* » ;

- « *il est recommandé que la conservation de la qualité et du libre écoulement des eaux souterraines dans le milieu pendant les travaux (comblement ou confortement) destinés à réduire ou supprimer le risque d'effondrement soit étudiée et justifiée* ».

7.3.2.5 Projets d'aménagement et d'extension

Dans le cas des secteurs urbanisés sous-cavés ou potentiellement sous-cavés, le choix de dispositions applicables pour les extensions est important, dans la mesure où les projets sur les biens existants participent au développement humain et économique d'un territoire. Ils constituent aussi bien souvent une base de dialogue dans les phases de concertation.

Dans les zones définies comme **inconstructibles**, il s'agit principalement de mesures d'urbanisme pour lesquelles il importe de bien définir les types d'extensions éventuellement admissibles. Les principaux objectifs sont d'éviter les changements de destination des bâtiments entraînant une augmentation sensible de la vulnérabilité (maison devenant magasin, corps de ferme devenant gîte rural, etc.).

Les extensions, souvent mesurées, de bâtiments existants peuvent être admises sous réserve qu'ils ne dépassent pas une surface forfaitaire au sol, en particulier dans les secteurs déjà urbanisés à forte pression foncière. Il peut être nécessaire de notifier dans le règlement des limites supérieures en terme de volume et/ou d'emprise au sol (souvent < à 20 m²), en précisant bien le caractère unique de la mesure et en se basant sur la date d'approbation du PPRN.

Dans les secteurs **constructibles moyennant le respect de prescriptions**, les dispositions sur les projets nouveaux s'appliquent normalement aux extensions soumises à autorisation ou à déclaration. Dans ce dernier cas, le choix de règles de construction doit être en rapport au regard des types d'extensions (ne pas prescrire un sondage à 50 m pour une demande d'extension de 10 m²).

7.3.3 Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde

Ces mesures d'ensemble ont pour objectifs de limiter la vulnérabilité des biens et des personnes en proposant des reconnaissances, des solutions de surveillance ou la mise en place de parades passives vis-à-vis des phénomènes redoutés.

Contrairement à la réglementation sur les projets ou aux mesures sur l'existant, elles ne sont pas directement liées à un cas spécifique et peuvent être prescrites, en tant que de besoin, dans les zones d'aménagement futur et/ou dans celles déjà urbanisées ou occupées.

Elles peuvent également concerner les zones non directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver le risque ou en provoquer de nouveaux.

Le règlement précise clairement les mesures qui relèvent de la responsabilité des collectivités publiques, dans le cadre de leurs compétences, de celles qui incombent aux gestionnaires de réseaux (eau, électricité, transports, etc.) et aux particuliers (quels qu'ils soient : industriels, campings, ERP, etc.). Elles peuvent être rendues obligatoires dans un délai de cinq ans au maximum.

Certaines études et travaux de prévention, réalisables par les collectivités en application de ces mesures peuvent être financées partiellement grâce à la mobilisation du fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM) et dans les limites des ressources du fonds.

7.3.3.1 Mesures de Prévention

Les mesures de prévention, en matière de risques dus aux instabilités de terrain, font référence à des actions de reconnaissance d'entretien, de surveillance et d'information. Elles visent notamment à :

- améliorer la connaissance de l'aléa, principalement en détectant et en inspectant de nouveaux vides pour en préciser les contours et pour suivre l'évolution des phénomènes, par la mise en place éventuelle de dispositifs de surveillance ;
- réduire la portée des facteurs aggravants susceptibles d'augmenter la prédisposition d'une cavité à la ruine ;
- mettre en place des procédures pour l'information des populations exposées.

Mesures de reconnaissance et suivi

L'acquisition de connaissances supplémentaires sur la présence ou l'état de cavités peut être menée par un propriétaire (quelque il soit) à l'échelle d'une parcelle dans le cadre d'un projet [§ 7.3.2.2], voire au droit d'un bien existant, mais compte tenu des coûts de mise en œuvre, il est intéressant que ces études soient réalisées, à l'échelle d'un quartier ou d'un territoire, sous maîtrise d'ouvrage de la collectivité.

Le règlement peut encourager l'exploration et l'examen de cavités décelées notamment à l'aplomb d'aménagements existants ou dans leurs marges de sécurité.

- *« certaines cavités présentes dans la marge de sécurité peuvent sous-miner des propriétés voisines. La collectivité mettra en place une démarche de concertation entre les différents propriétaires concernés de manière à optimiser les visites et interventions ».*

Les reconnaissances et inspections régulières d'ouvrages souterrains engagent la responsabilité des intervenants (sécurité, compétence sur l'avis rendu..) et restent du domaine d'organismes spécialisés publics ou privés. Certaines collectivités disposent de services spécialisés (inspections des carrières) qui peuvent assurer la réalisation de telles mesures réglementaires .

- *« la visite des cavités souterraines abandonnées non utilisées ou menaçant ruine est interdite à toute personne non accompagnée d'un professionnel requis par la préfecture sous le domaine public et à charge du propriétaire pour le domaine privé ».*

Le suivi périodique des zones de stabilité douteuse, ou la mise sous surveillance de sites ou d'ouvrages de confortement peuvent également être prescrits. Ces mesures de surveillance peuvent s'appliquer directement aux cavités ou être adaptées à l'apparition d'un facteur déclenchant reconnu (montée de nappe par exemple).

Les mesures de télésurveillance instrumentale présentent l'avantage de compléter le suivi visuel

grâce à des mesures continues. Ces dispositifs, s'ils peuvent être mis en place à un coût raisonnable, doivent être considérés comme des outils ayant pour but de signaler un changement de comportement du massif et permettant de déclencher une inspection dans la zone auscultée.

En outre, ces techniques représentent un coût récurrent (télégestion des données, entretien, visites, remplacement...) qui peut se poursuivre sur plusieurs années.

Gestion des facteurs aggravants et entretien des réseaux

Certaines mesures générales faciles à mettre en œuvre peuvent être prescrites, à titre collectif, dans les zones soumises à des mouvements de terrain. Dans les zones sous-cavées, des mesures de prévention relatives à l'assainissement (adaptation ou extension des réseaux publics) apparaissent extrêmement importantes compte tenu du rôle de l'eau (fuite, rejet non contrôlé...) comme facteur d'aggravation du risque.

Ces mesures sont destinées en priorité aux propriétaires et gestionnaires des réseaux. Elles sont assez spécifiques aux mouvements de terrain mais recouvrent certaines dispositions de la loi sur l'eau en terme d'obligations et de dates de mises en œuvre.

- « *les réseaux, lorsqu'ils existent doivent présenter un niveau d'étanchéité élevé (aux fuites). Les certificats d'étanchéité des réseaux et de conformité des branchements doivent être établis, gérés et maintenus disponibles* » ;
- « *il convient d'interdire ou de limiter au strict minimum les rejets dans le milieu naturel ou les excavations souterraines ainsi que, d'une manière générale, toute injection ponctuelle dans le sous-sol* ».

Les cas particuliers (bassin de rétention, station d'épuration...) peuvent être justifiés par une étude.

- « *le service gestionnaire du réseau procède au contrôle de l'état des canalisations. Il élabore, en outre, un programme d'entretien qui intègre le risque d'effondrement et le met en pratique* ».

Les administrateurs des réseaux doivent prendre des dispositions afin que les mouvements de terrain redoutés ne soient pas de nature à endommager ces dits réseaux. Leur dégradation serait en effet de nature à engendrer une aggravation du phénomène (fuite d'eau dans les terrains) ou générer des sur-accidents (fuites de gaz).

Aménagements et entretien

Il peut s'agir de moyens relativement légers ou non-structurels, généralement prescrits aux collectivités qui en auront la charge. Les mesures techniques restent, à ce stade, très spécifiques aux types d'aléas étudiés et constituent généralement des mesures de « bon sens ».

On retiendra, par exemple, l'entretien de la végétation dans les talus situés au-dessus des entrées en cavage.

- « *Les crêtes de falaises devront être entretenues en y maintenant une végétation de type arbustif et, si possible, avec un système racinaire traçant¹¹* ».

Des travaux locaux de drainage ou de contrôle des eaux de ruissellement peuvent aussi être prescrits. Ils contribuent à atténuer et dans certains cas à stabiliser les mouvements de sol, mais aussi à réduire les dégradations au sein des terrains de couverture affectés par les éboulements ou les effondrements.

Information

La sensibilisation et l'information des populations exposées sur les risques et les moyens de s'en protéger constituent des éléments essentiels de la concertation et de la prévention. Dans le cas d'une commune dotée d'un PPRN, le maire a également une obligation d'information préventive tous les deux ans.

Les mesures de prévention pourront énumérer ces obligations en rappelant par exemple l'article L.125-2 du Code de l'environnement, ou les articles R.125-23 à 27 du même code, relatifs

¹¹ - Racines couvrantes à extension horizontale et superficielle, préférable à un système pivotant.

à l'information des acquéreurs et locataires de biens immobiliers, ou encore exposer les modes de diffusion de l'information auprès de public.

- « *les consignes de sécurité à mettre en œuvre en cas d'effondrement de sol devront être portées à la connaissance du public dans les lieux et locaux dépendant de la municipalité et dans les établissements privés ouverts au public* ».

Ces mesures peuvent aussi informer sur les possibilités de regroupement de propriétaires exposés au sein d'associations pour disposer de subventions supplémentaires (par exemple dans le cadre d'opérations d'amélioration de l'habitat) et mettre en œuvre les travaux de reconnaissance et de sécurité à l'échelle d'un îlot, voire d'un quartier.

7.3.3.2 Mesures de protection

Dans le cas particulier des effondrements de cavités, les mesures de protection sont celles déjà définies dans le cadre des dispositions constructives pour les projets [§ 7.3.2.3].

Ces techniques actives sont efficaces à l'origine du risque (la cavité ou les terrains en cours d'effondrement) et permettent, éventuellement, de supprimer l'aléa dans un secteur donné.

Contrairement à la plupart des autres risques naturels, les parades passives ne s'appliquent qu'au droit (ou à proximité immédiate) des enjeux sous-cavés en réduisant les conséquences de phénomènes.

L'identification et la prescription de ces mesures à une collectivité dépendent de la configuration des cavités, de la vulnérabilité et de la propriété des enjeux à protéger (axe routier sensible, équipement sportif...).

Dans le cas de projets « stratégiques », permettant de desservir des terrains non exposés ou lorsqu'une zone inconstructible se situe au sein de zones urbanisées ou encore lorsqu'il n'existe pas d'autres possibilités (absence d'alternative vérifiée), la mise en œuvre de ces mesures de protection par la collectivité permet de déroger au principe d'interdiction.

La réalisation de travaux importants, alors techniquement et financièrement concevables, permettant de garantir la suppression totale de l'aléa considéré. Cette approche relève des mesures générales de protection et peut donner lieu à une révision partielle du PPRN.

7.3.3.3 Mesures de sauvegarde

Les mesures de sauvegarde, susceptibles d'être élaborées dans le cadre des PPRN cavités, correspondent d'abord à des dispositions pratiques destinées à gérer la sécurité publique en cas de déclenchement d'évènements.

Elles peuvent servir dans l'élaboration du Plan Communal de Sauvegarde (PCS), obligatoire pour les communes dotées d'un PPRN.

On privilégiera les mesures conservatoires devant être respectées en cas de constatation d'un désordre, en rappelant l'obligation des populations exposées à déclarer les nouveaux phénomènes.

- « *l'apparition d'un effondrement à moins de Xm de toute habitation, distance déterminée depuis la bordure du cratère, justifie la mise en œuvre d'une procédure d'arrêté de péril imminent concernant les habitations et/ou les voies publiques situées dans un périmètre de Ym* ». Rappelons toutefois que l'exécution de ces mesures de sûreté, exigées par un risque menaçant un immeuble, lorsque ce risque provient d'une cause extérieure à ce dernier, tel que l'affaissement d'anciennes carrières souterraines, est prescrite au titre des pouvoirs de police générale du maire [voir § 2.1.3] et non au titre de son pouvoir de police spéciale des édifices menaçant ruine.

- « *tout désordre constaté pouvant résulter de la dégradation d'une ancienne cavité, ou révélant l'existence d'une excavation non répertoriée, doit être signalé sans délai en mairie et inscrit dans un registre des inventaires de mouvements de terrain* ».

Des dispositions visant à fermer les accès aux cavités ouvertes peuvent également être établies dans le cadre des mesures de sauvegarde.

• « tous les accès aux carrières souterraines, qu'ils soient sur emprise publique ou terrains privés, connus ou découverts postérieurement à la publication du PPRN, qu'il s'agisse d'entrées de galeries ou de puits, devront être fermés pour en interdire l'accès non sécurisé du public. Ils devront toutefois rester accessibles pour permettre des interventions par les services spécialisés ».

Les mesures relatives à l'élaboration de plans de secours sont toutefois difficilement comparables à celles qui peuvent être mises en œuvre pour d'autres types de risques naturels (inondations, séismes, etc.) affectant le territoire sur de grandes superficies ou pendant une période de crise plus longue.

• « Pour réagir à des situations de crise engendrées par des effondrements de terrain, la municipalité, en collaboration avec les services de secours (SDISS) et de la protection civile :

- référencera des entreprises spécialisées disposant de matériel adapté et en mesure de dégager des personnes ensevelies (spéléo-secours, société de forages gros diamètre...)

- établira un plan des axes secondaires permettant de desservir les zones urbanisées en cas de désordre (avéré ou imminent) affectant un axe principal ;

- établira un plan d'évacuation d'urgence et de relogement provisoire des sinistrés ...

7.3.4 Mesures applicables aux biens existants

Ces mesures visent surtout à réduire la vulnérabilité des enjeux exposés et sont relatives à l'aménagement, à l'utilisation ou à l'exploitation des constructions, des ouvrages et des espaces naturels existant à la date de l'approbation du PPRN. Elles doivent être prises par les propriétaires, collectivités, exploitants ou utilisateurs.

Elles peuvent en outre être rendues obligatoires en fonction de la nature et de l'intensité de l'aléa. Dans ce cas, les travaux de prévention imposés

aux biens construits ou aménagés conformément aux dispositions du code de l'urbanisme avant l'approbation du plan, ne peuvent porter que sur des aménagements limités dont le coût est inférieur à 10% de la valeur vénale ou estimée du bien à la date d'approbation du plan, sans pour autant appliquer une quelconque dévalorisation liée à l'affichage du risque.

Le règlement doit préciser clairement quelles sont les mesures obligatoires et le délai fixé pour leur mise en œuvre, sans que ce dernier ne puisse excéder cinq ans (article R.562-5 du Code de l'environnement).

En outre, les études et travaux imposés par le règlement peuvent être financés partiellement (et dans les limites disponibles) grâce à la mobilisation du fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM) pour les particuliers et les entreprises de moins de vingt salariés.

Dans le domaine particulier des cavités souterraines, ces mesures portent soit :

1. sur le traitement de la cavité à l'origine du risque. Des prescriptions de travaux sont surtout envisageables lorsque les cavités sont parfaitement reconnues et que le traitement peut être évalué (coût moyen, nature, période de travaux, niveau de sécurisation, etc.) par rapport à la catégorie et la valeur du bien exposé. Lorsque les cavités s'étendent largement sous la parcelle ou les propriétés voisines ou encore, lorsqu'on connaît mal la configuration et l'extension des vides, il convient d'éviter ces mesures et surtout de ne pas leur donner de caractère obligatoire ;

2. plus indirectement, sur **la réduction des mécanismes de dégradation.** Dans ce cas, les mesures applicables aux biens existants sous-cavés concerneront la maîtrise des eaux dans le sous-sol. En complément des mesures de prévention mises en œuvre à l'échelle de la collectivité, des prescriptions à caractère obligatoire peuvent être données.

• « le raccordement aux réseaux publics (assainissement, adduction d'eau potable...), lorsqu'ils

existent, est rendu obligatoire pour les propriétés bâties non encore raccordées aux réseaux à la date d'approbation du plan de prévention des risques »¹².

- *« en l'absence de réseau, les différents rejets doivent être canalisés vers des assainissements autonomes conformes à la réglementation en vigueur et situés avec une marge de X m par rapport aux cavités connues et/ou une marge de Y m (Y<X) par rapport à toute habitation. Les fosses et évacuations non conformes doivent être remblayées ou enlevées ».*

- *« le propriétaire s'assurera, dans les limites de sa propriété, de l'étanchéité des canalisations d'eaux usées (périodicité à indiquer explicitement) ».*

Lorsque les cavités sont utilisées de manière régulière, notamment à des fins industrielles, commerciales ou autres (caves, ERP, habitats troglodytes, etc.), des dispositions particulières peuvent aussi être prescrites. L'application de ces prescriptions relève, bien entendu, de la responsabilité de l'exploitant, qu'il soit propriétaire de la surface ou non.

- *« que l'occupation des cavités soit temporaire ou permanente, il est prescrit des investigations dans un délai de (X) années destinées à vérifier l'état de l'ouvrage et de son environnement immédiat ».*

- *« dans le cas où des dispositions techniques ont été définies pour garantir la stabilité des ouvrages, l'exécution des travaux intervient dans un délai de (Y) années à compter de la date d'approbation du PPRN ».*

- *« le propriétaire du tréfonds devra faire procéder à des inspections périodiques (périodicité à définir) des cavités pour vérifier l'état des cavités et évaluer les mesures de prévention à y mettre en œuvre ».*

12 - La durée maximale d'application pour ces travaux est de deux ans.

8 - Bibliographie

Bibliographie de base

- *Plan de prévention des risques naturels (PPRN) : Guide général* - La documentation française Paris 1997 - ISBN 2-11-003751-2.
- *Plan de prévention des risques naturels (PPRN) : Risques de mouvement de terrain : Guide méthodologique* - La documentation française Paris 1999 - ISBN 2-11-004354-7.
- *PPRN Cahier de recommandations sur le contenu des PPRN* - Document édité par le Ministère de l'Écologie, du développement et de l'Aménagement Durables MEDD/SDRM/CARIAM - Janvier 2006 - Réalisation Graphies.
- *Aléas et enjeux : Éboulements et glissements de terrain : Éduquer pour prévenir les risques majeurs* - SCEREN (CNDP-CRDP) - supplément de TDC N° 843 - 01/11/2002 ISSN 0395-6601.
- *Méthodes de mise en sécurité des populations face aux risques d'effondrement de cavités souterraines - Guide technique INERIS*. Programme EAT-DRS-02 pour le MEDD - À paraître.
- *Recommandations pour l'évaluation et le traitement des conséquences des mouvements du sous-sol sur le bâti - Guide technique INERIS*. Programme EAT DRS 02 pour le MEDD - À paraître.
- *Étude et gestion des marnières - guide technique*, LCPC - À paraître.
- *Carrières souterraines abandonnées : Risques et prévention - Synthèse des travaux du séminaire de Nainville-les-roches : 8,9,10 décembre 1993* - Bulletin AIGI paris N° 51 - Avril 1995.
- *Évaluation des aléas liés aux cavités souterraines : Guide Technique* - Collection environnement les risques naturels du LCPC - ISSN 1151-1516 - 2002.
- *Évaluation des enjeux et élaboration du dossier réglementaire* - Travaux réalisés en 2004 par La direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction du Ministère de l'Équipement pour insertion dans le Guide PPRM - en cours de rédaction.

Réglementation de base et textes récents

- **Loi n° 82-600 du 13 juillet 1982** relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles.
- **Loi n° 95-101 du 2 février 1995**, relative au renforcement de la protection de l'environnement.
- **Loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003** relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages.
- **Décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995** relatif aux plans de prévention des risques naturels prévisibles.
- **Décret n° 2004-554 du 9 juin 2004** relatif à la prévention du risque d'effondrement de cavités souterraines et de marnières et modifiant le décret n° 90-918 du 11 octobre 1990 relatif à l'exercice du droit à l'information sur les risques majeurs .
- **Décret n° 2005-3 du 4 janvier 2005** modifiant le décret n° 95-1089 du 5 octobre relatif aux plans de prévention des risques naturels prévisibles.

- **Décret n° 2005-29 du 12 janvier 2005** modifiant le décret n° 95-1115 du 17 octobre 1995 relatif à l'expropriation des biens exposés à certains risques naturels majeurs menaçant gravement des vies humaines ainsi qu'au fonds de prévention des risques naturels majeurs.
- **Décret n° 2005-134 du 15 février 2005** relatif à l'information des acquéreurs et locataires de biens immobiliers.
- **Décret n° 2007-18 du 5 janvier 2007** du Code de l'Urbanisme relatif aux pièces complémentaires exigibles en fonction de la situation ou de la nature du projet.
- **Code de l'environnement :**
 - partie législative : articles L.125-2 et articles L.562-1 à L.562-7 ;
 - partie réglementaire : articles R.125-9 à R.125-26 et articles R.561 à R.563.

Autres informations

- *Journées PPRN de l'INERIS* en novembre 2001 à Marseille.
- *PER mouvement de terrain « cavités et falaises » de Chateaudun* (approbation février 1985), rapport technique, zonages et règlement.
- *PER carrières souterraines de Faches-Thumesnil* (approbation septembre 1990) comprenant la note de présentation, les cartes d'aléa, enjeux et risques et le règlement - Dossier représentatif des PER de Villeneuve d'Asq, Helesmes, Lesquin, Lezennes, Lille, Loos et Ronchin.
- *PER/PPRN gypse du massif de l'Hautil* (approbation décembre 1995) comprenant les cartes d'aléas, de risque et le règlement.
- *PPRN de Thorigny sur marne* (approbation septembre 1997), zonage et règlement.
- *PPRN (ancien zonage R111-3) de Roquevaire* (approbation mai 1999) - Dossier représentatif des PPRN Gypse en PACA comme Aubagne, Simiane.
- *PPRN carrières de pierre à ciment de Peypin* (approbation septembre 2000) - Dossier complet représentatif des PPRN en cours sur sept communes limitrophes situées dans le même « bassin de risque ».
- *PPRN carrières et falaises sous-minées de Pontoise* (approbation 2001) - Dossier comprenant le rapport de présentation, les cartes informatives, d'aléa, du zonage réglementaire et le règlement.
- *PER/PPRN mouvement de terrain de Laon* (approbation septembre 2002) - Dossier comprenant le rapport de présentation, les cartes informatives, d'aléa du zonage réglementaire et le règlement.
- *PPRN effondrement de cavités liées à la remontée de la nappe phréatique* - Tricot et Courcelles Epayelles (approbation juin 2004).

Annexes

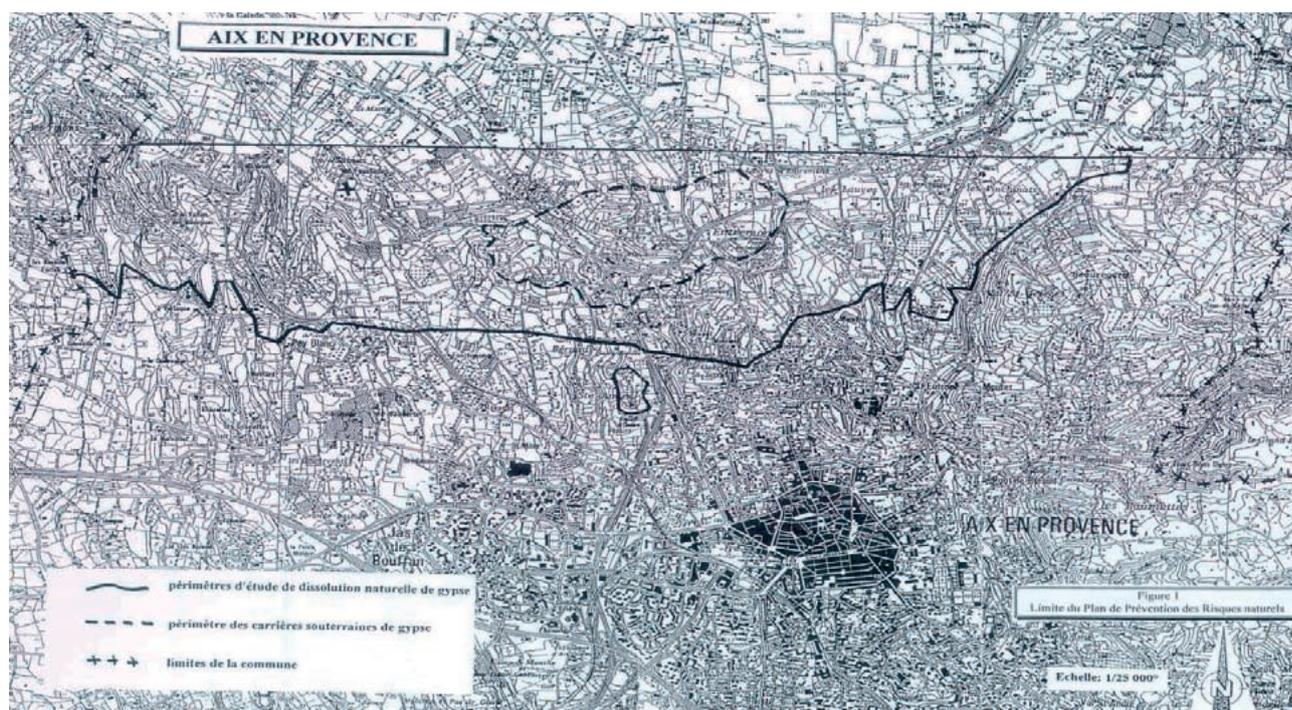


1 - Contexte général

1.1 - Motivation du PPR sur le site de Célongy

Le secteur de Célongy, situé au nord-ouest de la commune d'Aix-en-Provence, est en partie sous-miné par d'anciennes carrières souterraines de gypse. Les exploitations les plus récentes sont assez bien connues mais de nombreuses autres, beaucoup plus anciennes, sont disséminées au sein du secteur d'étude sans que leur localisation, leur extension et la nature de leurs travaux ne soient connues avec précision.

L'ancienneté des exploitations, le vieillissement naturel du gypse, les résistances et épaisseurs souvent faibles des terrains de recouvrement et l'existence de plusieurs couches exploitées laissent supposer, dans le long terme, l'occurrence possible de désordres en surface en cas d'éboulement des travaux souterrains. Pour aider à la maîtrise de l'urbanisation et gérer les risques liés au bâti existant, un plan de prévention des risques naturels de mouvements de terrains liés à l'existence de carrières souterraines de gypse a été prescrit sur le secteur.



Périmètre du PPR et vue générale du site de la butte de Célongy.

1.2 - Topographie et géologie du site

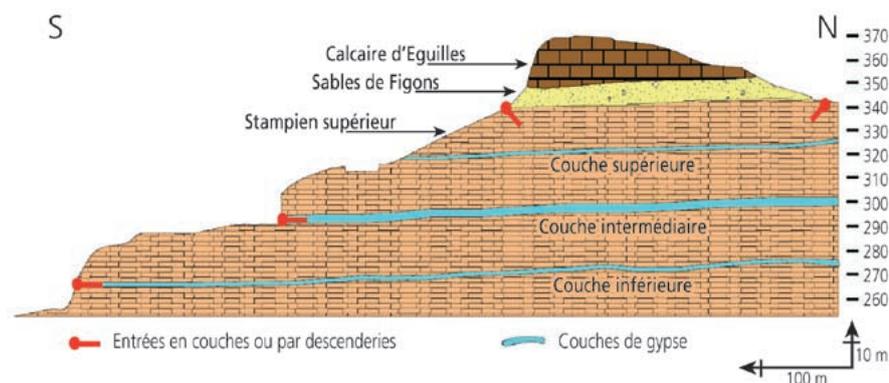
Le périmètre d'étude s'étend sur plus d'un millier d'hectares et englobe le flanc sud d'une butte dont le sommet est formé par un entablement calcaire. Le versant de cette butte présente des pentes relativement douces à sa base et une partie plus abrupte au sommet, au droit de la barre calcaire. La coupe schématique de la butte ci-après met en évidence la nature des terrains rencontrés.

Le gypse tertiaire se présente sous la forme d'une succession de couches dont trois présentent des épaisseurs suffisamment importantes (de 0,70 m à 2,20 m) pour avoir été exploitées. Elles seront appelées, dans la suite du texte, couches supérieure, intermédiaire (ou principale) et inférieure.

1.3 - Historique, typologie et localisation des excavations

L'exploitation du gypse dans le secteur de Célony remonte à une période très ancienne. Dès le XIV^e siècle, il est fait mention de l'existence de plâtrières et en 1821, 8 exploitations souterraines étaient en activité. Elles étaient 13 au début du XX^e siècle. Seules deux carrières persistèrent après la seconde guerre mondiale, la dernière faisant l'objet d'une autorisation d'abandon en 1956.

On peut disposer de renseignements assez précis sur ces dernières exploitations. Elles étaient relativement étendues et exploitées par la technique dite des « chambres et piliers abandonnés ». Il semble que ces exploitations n'aient intéressé que la couche intermé-

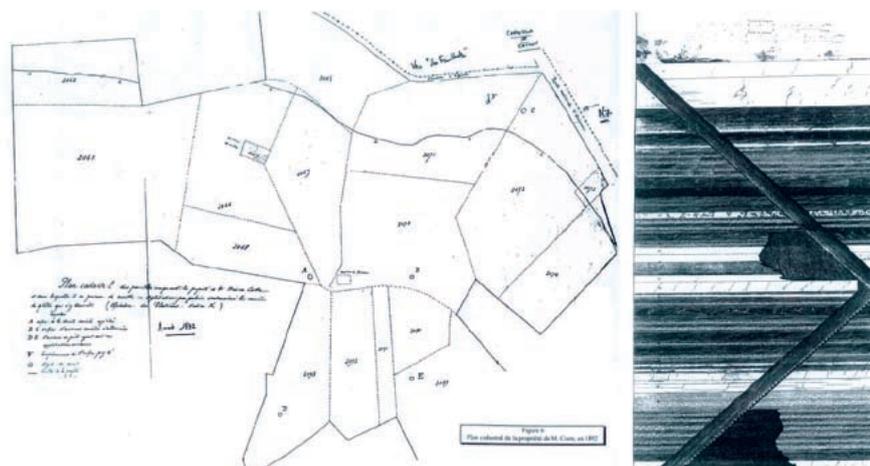


Coupe schématique de la butte de Célony.

diaire de gypse qui est également la plus épaisse (puissance de la couche variant entre 1,70 m et 2 m).

Les techniques d'exploitation anciennes diffèrent sensiblement. Aux XVIII^e et XIX^e siècles, les carriers exploitaient systématiquement la couche supérieure et, très fréquemment, la couche intermédiaire. Pour assurer la présence d'un banc suffisamment massif au toit et limiter les risques d'éboulement dans les galeries, les ouvriers abattaient généralement les bancs calcaires de mauvaise qualité qui surplombaient les couches de gypse.

Ainsi, malgré des épaisseurs de gypse de l'ordre de 1,50 à 2 m, les hauteurs de vides résiduels dépassaient localement 4 mètres. Toutefois, pour éviter de remonter les stériles calcaires au jour, les déchets d'exploitation servaient à remblayer partiellement les galeries.



Documents d'archives indiquant les parcelles concernées et les épaisseurs exploitées.



Anciens accès aux vides souterrains.

Seules les carrières les plus récentes possèdent des plans d'exploitation. Pour les autres, les documents techniques ont presque intégralement disparu ce qui complique considérablement leur localisation.

Sept zones sous-minées ont pu être identifiées en s'appuyant sur l'existence d'indices de vides suffisamment nombreux et précis pour mettre en évidence, ou tout du moins présumer fortement, l'existence d'anciennes exploitations souterraines dans le secteur (plans d'exploitation, présence de puits ou de descenderies).

Les exploitations récentes se situent pour la plupart sous l'entablement calcaire (présence du gypse de meilleure qualité protégé des phénomènes de dissolution et des perturbations géologiques). Même si le gypse était probablement de moins bonne qualité le long des bordures de versant, la possibilité de rentrer directement en couche et la moindre profondeur des travaux faciliteraient l'extraction. Les exploitations situées à flanc de coteau sont, en général, les plus anciennes.

Les quelques indices de cavités répertoriés ne suffisent pas à recenser les très nombreuses exploitations qui ont dû se développer dans le secteur. Certains indices ont été relevés lors des visites de reconnaissance du site, bien qu'aucun document d'archives ne fasse référence à l'existence d'exploitations à ces endroits. Une reconnaissance exhaustive et détaillée de l'ensemble du secteur d'étude étant toutefois impossible

(grande extension du domaine d'étude, nombreuses propriétés privées, zones non accessibles...), il est très probable que, localement, il demeure d'autres zones sous-minées dont on ignore l'existence.

Au vu des différents documents collectés et des témoignages recueillis, il apparaît également qu'au-delà d'une distance de 500 mètres au Nord de la bordure du plateau calcaire, la présomption de présence d'anciennes exploitations souterraines peut être considérée comme très faible à négligeable.

2 - Principe et intérêt d'une analyse par configurations types

2.1 - Objectifs de la méthode

En présence d'anciennes carrières souterraines présentant des conditions de site (géologie, topographie...) et d'exploitation (méthode d'exploitation, schéma de dimensionnement...) très variées, l'évaluation du risque d'instabilité en surface s'avère rapidement très délicate.

Pour répondre au mieux aux objectifs des PPR, l'INERIS a développé une alternative à ces deux approches. L'objectif de la méthode dite « des configurations types » consiste à définir un certain nombre de configurations établies à l'aide des paramètres qui caractérisent le mieux le comportement des exploitations souterraines et l'évolution à long terme de leur stabilité.

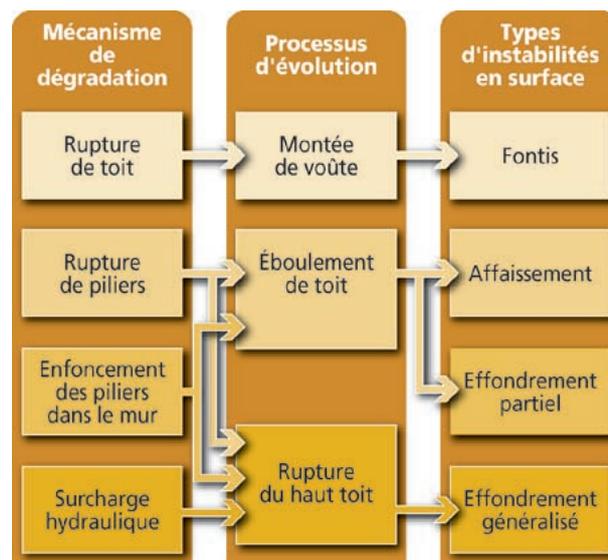
2.2 - Identification des principaux paramètres à intégrer à l'analyse

2.2.1 Généralités

Pour définir les différentes configurations caractérisant des secteurs représentatifs de l'exploitation, la première étape fondamentale consiste à identifier des paramètres susceptibles d'influer sur le comportement à long terme des cavités ainsi que sur la nature et la probabilité d'apparition d'éventuels désordres en surface.

Le recensement de ces paramètres exige une analyse informative du site détaillée qui permet de recenser les différents désordres ayant affecté la surface par le passé et de déterminer les zones dans lesquelles ces désordres se sont préférentiellement développés.

La démarche d'expertise permet ensuite d'identifier les scénarios de rupture qui peuvent affecter



Exemple de scénarios de rupture

les trois principales structures assurant la stabilité des cavités souterraines : les piliers, le toit et le mur. Le tableau ci-dessous présente certains des scénarios les plus classiques à l'origine des désordres affectant les carrières souterraines.

Lorsque les différents scénarios de rupture susceptibles de se développer sur le site ont pu être identifiés, on détermine les principaux facteurs capables d'influer sur le développement de ces instabilités. Ces facteurs peuvent être d'origine géologique, topographique, d'exploitation (épaisseur et nature des terrains de recouvrement, schéma de dimensionnement...)...

2.2.2 Application au site de Célony

Pour un site comme Célony, c'est principalement la nature et l'épaisseur du recouvrement qui constituent les paramètres permettant d'identifier les configurations retenues dans la suite de l'analyse.

Ce site se caractérise en effet par l'existence de trois couches de gypse plus ou moins épaisses qui n'ont été que très localement exploitées. Les carrières ne se sont développées soit exclusivement en couche supérieure, soit en couche intermédiaire, parfois en couches intermédiaire et supérieure superposées. L'accès aux travaux souterrains se faisait soit directement en couche au niveau de l'affleurement, par l'intermédiaire de puits ou de plans inclinés. Certaines exploitations étaient menées sous le flanc du coteau, d'autres se sont étendues sous le plateau calcaire..

On ne dispose donc que d'informations parcelaires sur les conditions d'exploitation (très peu de plans, pas de visites des travaux) pour intégrer ce facteur dans les critères permettant d'identifier les configurations.

La notion de présomption de vides n'a pas non plus été intégrée aux critères de définition des configurations afin de ne pas complexifier l'analyse en multipliant le nombre de configurations. Cette notion intervient en revanche explicitement, au sein de chaque configuration.

Six configurations principales ont ainsi été établies. Elles permettent de couvrir l'ensemble des terrains situés à l'intérieur du périmètre d'étude. Elles regroupent les terrains de surface :

- situés sous la couche inférieure de gypse (*configuration 1*) ;
- situés entre les couches inférieure et intermédiaire de gypse (*configuration 2*) ;
- situés au dessus de la couche intermédiaire de gypse mais sous la couche de sables des Figons (*configuration 3*) ;
- constitués de sables des Figons ou de colluvions de pente (*configuration 4*) ;
- situés sur le plateau calcaire, à moins de 500 mètres en distance horizontale de la bordure de ce dernier (*configuration 5*) ;
- situés sur le plateau calcaire, à plus de 500 mètres en distance horizontale de la bordure de ce dernier (*configuration 6*).

Pour chacune de ces configurations, une analyse spécifique a permis d'identifier les différents mécanismes de dégradation susceptibles de se développer au sein des anciens travaux et d'analyser les phénomènes d'instabilité susceptibles d'affecter les terrains de surface.

2.3 - Approche méthodologique de la caractérisation de l'aléa

2.3.1 Classes d'intensité

Au vu de l'analyse des mécanismes de rupture susceptibles d'affecter les exploitations souterraines de Célony ; il convient d'évaluer trois phénomènes d'instabilité potentiels.

• *cuvette d'affaissement*

Les reconnaissances spéléologiques préliminaires à l'élaboration du PPRN ont mis en évidence, dans certains secteurs, une faible ouverture de vide résiduel au regard de la profondeur des travaux. Si on ajoute à cela la nature marno-calcaire des terrains de recouvrement, le risque de développement en surface de cuvette d'affaissement progressif n'a pu être catégoriquement écarté. L'amplitude des mouvements envisageables en surface est relativement faible et correspond à une *classe d'intensité limitée*.

• *effondrement localisé*

Le développement d'effondrements localisés en surface peut résulter soit de l'apparition de fontis, soit de la rupture de tête de puits (assez nombreux sur le secteur). Compte tenu de la nature des terrains présents en sub-surface ainsi que des caractéristiques des travaux souterrains et des puits, les dimensions de cratères susceptibles de se développer en surface peuvent varier de un à quelques mètres. Ceci correspond à une *classe d'intensité variant de limitée à modérée*.

• *effondrement généralisé*

Comme spécifié plus haut dans le guide, ce type de manifestation se voit systématiquement associée à une *classe d'intensité élevée*.



2.3.2 Classes de probabilité d'occurrence

La prédisposition des différents secteurs à subir tel ou tel type de désordre est évaluée en fonction des paramètres caractérisant l'environnement de ces secteurs (épaisseur et nature du recouvrement) et la technique d'exploitation correspondante (petits piliers, niveaux superposés).

La détermination de cette prédisposition s'appuie sur l'analyse des scénarios et mécanismes de rupture susceptibles d'affecter les cavités souterraines. Quatre classes de prédisposition d'un site à la rupture ont été retenues : *très peu sensible, peu sensible, sensible et très sensible*.

Dans le cas du PPR de Célony, l'extension très importante de la zone d'étude et le peu d'informations disponibles compte tenu de l'ancienneté des travaux souterrains, ont conduit à intégrer à l'analyse le concept de présomption de présence de vides présenté précédemment.

Quatre classes de présomption de présence de vides ont été retenues en fonction de la configuration géologique :

- *très improbable* pour les configurations *a priori* non adaptées à l'exploitation de gypse en souterrain (pas de gypse connu dans les terrains) ;
- *possible* pour les zones situées dans une configuration géologique peu adaptée à l'exploitation de gypse (couche peu épaisse, profondeur du matériau importante) ;
- *probable* pour les zones situées dans une configuration *a priori* favorable à l'exploitation de gypse en souterrain mais pour lesquelles on ne possède aucun indice de vides (affleurement des couches supérieure et intermédiaire de gypse) ;
- *très probable à certaine* pour les zones où on possède des indices permettant de mettre en évidence la présence d'exploitations souterraines.

Le croisement de la présomption de présence de vides avec la prédisposition du site à un type de rupture en présence de vides permet de définir la classe de probabilité d'occurrence correspondante (*très peu sensible, peu sensible, sensible, très sensible*). Le principe de définition de ces classes est explicité dans le tableau ci-dessous.

Principe d'évaluation de la classe de probabilité d'occurrence				
Prédisposition à la rupture	Présomption de vides			
	Très improbable	Possible	Probable	Très probable à certaine
Très peu sensible	Très peu sensible	Très peu sensible	Très peu sensible	Peu sensible
Peu sensible	Très peu sensible	Très peu sensible	Peu sensible	Sensible
Sensible	Très peu sensible	Peu sensible	Sensible	Sensible
Très sensible	Peu sensible	Sensible	Sensible	Très sensible

2.3.3 Niveaux d'aléa

On obtient les différents niveaux d'aléa en croisant les intensités des désordres potentiels avec leur probabilité d'occurrence correspondante. Le tableau suivant en fournit les principes.

Principe de hiérarchisation des niveaux d'aléa				
Intensité	Probabilité d'occurrence			
	Très peu sensible	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée	Négligeable	Négligeable	Faible	Moyen
Modérée	Négligeable	Faible	Moyen	Fort
Élevée	Faible	Moyen	Fort	Fort

3 - Exemple d'application à une configuration

Pour illustrer la mise en œuvre de la méthode d'analyse, il est possible de montrer un cas d'application à la configuration n°3 correspondant aux terrains de surface situés entre l'affleurement de la couche intermédiaire de gypse et l'affleurement des sables des Figons. Cette configuration englobe la majorité des terrains qui constituent les flancs de la butte (figure ci-dessus).

3.1 - Analyse des possibles scénarios de rupture

La configuration n°3 est favorable à l'existence d'anciennes exploitations souterraines. Les couches principale et supérieure de gypse affleurant dans la zone, il était possible aux anciens carriers de rentrer directement en couche ou d'exploiter le gypse par puits ou descenderies ou fendues. Il existe de nombreux indices de vides dans cette configuration. Ainsi, 3 des 7 zones sous-minées sont localisées dans la configuration n°3. La présomption de présence d'anciens vides souterrains a donc été considérée comme *probable* sur l'ensemble de la configuration, à l'exception des trois zones pour lesquelles on dispose de suffisamment d'indices pour la considérer comme *très probable à certaine*.

Comme toutes les exploitations menées par chambres et piliers abandonnés, les vieux tra-

voux de Célony sont essentiellement sensibles à deux types de rupture : effondrement de piliers et/ou rupture de toit.

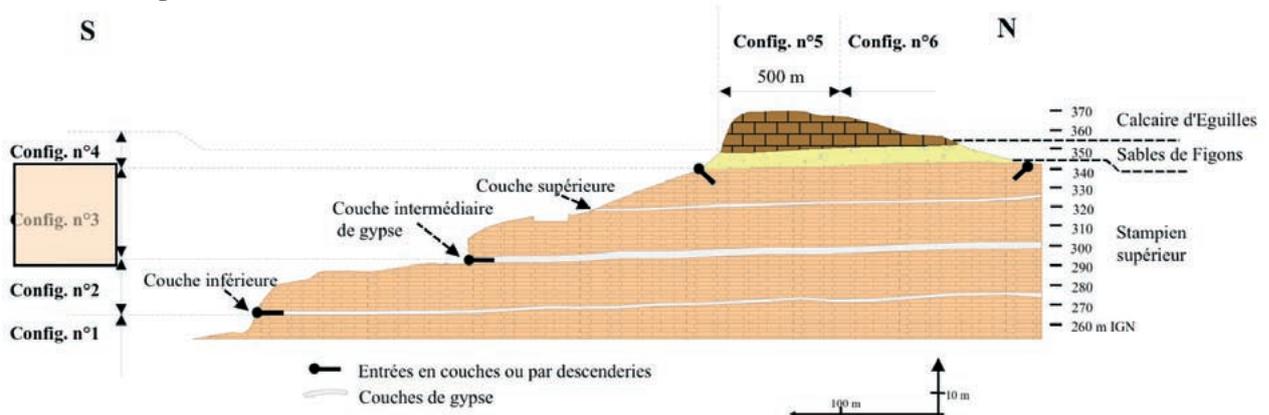
L'épaisseur limitée de recouvrement et les dimensions a priori importantes des piliers limitent toutefois les risques de rupture en chaîne de piliers. Même si ceux-ci ne peuvent être totalement exclus du fait notamment de l'existence d'exploitations mal superposées, la prédisposition du site à un effondrement généralisé peut être considérée comme peu sensible.

La hauteur de vide potentiellement assez importante en certains points (les anciens carriers surlevaient les cavités pour laisser au toit un banc suffisamment résistant), l'épaisseur limitée et la faible résistance des terrains de recouvrement (alternances marno-calcaires très feuilletées) confèrent en revanche une prédisposition très sensible du site vis-à-vis du phénomène d'effondrement localisé.

3.2 - Hiérarchisation de l'aléa à la configuration 3

• Prédiposition du site à la rupture :

Peu sensible pour affaissement et effondrement généralisé, Très sensible pour effondrement localisé.



Zones sans indices de vides connus

Présomption de présence de vides : probable

	Intensité limitée	Intensité modérée	Intensité élevée
Probabilité d'occurrence	Sensible	Sensible	Peu sensible
Aléa correspondant	Faible	Moyen	Moyen
Aléa global de la zone	Moyen		

Zones avec indices de vides

Présomption de présence de vides : très probable à certaine.

	Intensité limitée	Intensité modérée	Intensité élevée
Probabilité d'occurrence	Très sensible	Très sensible	Peu sensible
Aléa correspondant	Moyen	Fort	Moyen
Aléa global de la zone	Fort		

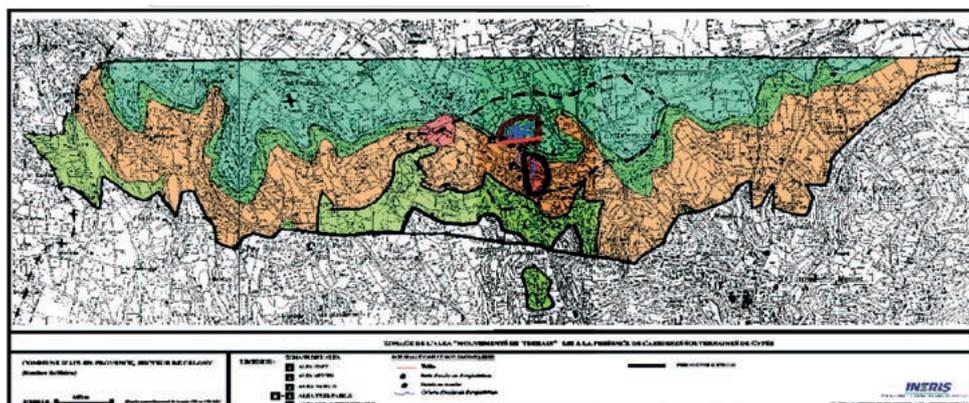
4 - Globalisation de la démarche et cartographie

En appliquant la même méthode d'analyse aux autres configurations identifiées sur l'ensemble de la zone, on obtient les résultats reportés dans le tableau ci-dessous.

Une fois la démarche appliquée à l'ensemble des configurations, on reporte les différents niveaux d'aléa sur un fond topographique afin de réaliser une cartographie de l'aléa couvrant l'ensemble des secteurs exploités.

Sur l'ensemble du domaine d'étude, la majorité des secteurs correspond à des niveaux d'aléa *faible* (faible probabilité de présence de vides ou faible sensibilité du site à la rupture) à *moyen* (forte sensibilité du site à la rupture mais probabilité moyenne de présence de vides). Seules quelques zones mettent en évidence un niveau d'aléa fort (vides connus dans un secteur présentant une forte prédisposition à la rupture).

	Configuration n° 1	Configuration n° 2	Configuration n° 3	Configuration n° 4	Configuration n° 5	Configuration n° 6
Sans indice de vides	Négligeable	Faible	Moyen	Faible	Faible	Très faible
Avec indices de vides	-	Fort	Fort	Fort	Moyen	-



Carte d'aléa
du PPRN de Célony





Direction de la prévention des pollutions et des risques
Service des risques naturels et hydrauliques
20, avenue de Ségur, 75302 Paris 07 SP
<http://www.developpement-durable.gouv.fr> - <http://www.prim.net>