

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

Plan de prévention des risques naturels

Cavités souterraines abandonnées



Remerciements

Ce guide a été réalisé, à l'initiative du service des risques naturels et hydrauliques rattaché à la direction générale de la prévention des risques (DGPR/SRNH) du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, par Messieurs 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 du présent guide est principalement basée sur le retour d'expérience de l'INERIS dans l'élaboration de nombreux plans de prévention des risques naturels « cavités » sur l'ensemble du territoire français.

Elle s'appuie également sur la consultation de documents relatifs aux plans de prévention des risques naturels (PPRN), la réalisation d'enquêtes, la participation à différents groupes de pilotage technique, colloques et réunions publiques consacrés à la thématique.

Les auteurs tiennent à remercier les différents experts qui ont contribué à sa validation, par leur apport et leur expérience aux différentes étapes de son élaboration. Un remerciement particulier est adressé à Monsieur François Hedou (DGPR) pour son appui précieux lors des derniers mois.

Préface

Le territoire français est largement exposé aux risques liés à la présence de cavités souterraines, qu'elles soient naturelles (vides de dissolution) ou d'origine humaine (surtout extraction de matériaux dans les carrières souterraines et creusement de refuges).

Toute cavité souterraine, présente dans le sous-sol, entraîne irrémédiablement une altération des propriétés du massif rocheux. Sans entretien ou confortement, ces cavités, notamment lorsqu'il s'agit d'anciennes carrières souvent exploitées plus que de raison, subissent des dégradations liées à l'effet conjugué de paramètres environnementaux (temps, hygrométrie, surcharge...).

Ces dégradations peuvent conduire, à terme, à la rupture des cavités et au développement d'effondrements brutaux de la surface du sol, difficilement prévisibles et potentiellement dangereux pour les personnes et les biens.

La protection des populations et la gestion des terrains exposés à ces aléas constituent l'une des préoccupations fortes des services de l'État dans les politiques d'affichage et de prévention relatives aux risques naturels majeurs.

Le Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles, instauré par la loi du 2 février 1995, représente à ce titre un des outils qui peuvent être mis en œuvre pour prévenir ce type de risques dans des territoires fortement exposés.

Ce guide méthodologique a été établi pour aider les services déconcentrés de l'État à préparer et suivre les études propres à cette problématique particulière. Il s'adresse également aux responsables des collectivités locales amenés à gérer les documents d'urbanisme et aux bureaux d'études techniques appelés à travailler sur ce sujet.

Je souhaite que la lecture de ce document apporte aux différents acteurs des réponses sur l'application des mesures de prévention et sur le niveau de responsabilité de chacun. Il facilitera de fait la concertation dans l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Naturels liés à la présence des cavités souterraines abandonnées.

**Le directeur général
de la prévention des risques**



Laurent MICHEL

Sommaire

3	Remerciements	45	Détermination des classes d'aléa
5	Préface	45	Cartographie de l'aléa
9	Introduction	49	Remarques et recommandations
11	Principe d'élaboration des PPRN cavités	53	Appréciation des enjeux
11	Objectifs du PPRN	53	Identification des types d'enjeux
12	Spécificités liées aux cavités	56	Exploitation des données
14	Procédure d'élaboration des PPRN	56	Cartographie des enjeux
16	Procédures de révision et de modification des PPRN	59	Zonage réglementaire
19	Autres effets de la mise en œuvre d'un PPRN	59	Démarche de zonage
19	La valorisation des données du PPRN	60	Éléments pratiques de cartographie
21	Description des phénomènes et des mécanismes d'instabilité	63	Règlement
23	Affaissement	63	Principes généraux
24	Effondrement localisé	63	Dispositions générales du règlement
27	Effondrement généralisé ou en masse	66	Dispositions applicables aux nouveaux projets
29	Collecte des données	69	Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde
29	Objectifs fondamentaux	72	Mesures applicables aux biens existants
29	Collecte des informations	75	Note de présentation
34	Restitution	75	Contenu de la note
36	Complications possibles et recommandations	76	Éléments complémentaires
37	Évaluation des aléas	77	Bibliographie
37	Généralités	79	Lexique spécifique à la problématique cavités
38	Qualification de l'intensité de l'aléa		
41	Qualification de la probabilité d'occurrence		

Introduction

Qu'il s'agisse de vides naturels ou anthropiques abandonnés, l'État met en œuvre une politique de prévention des risques liés aux cavités souterraines 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 abandonnées d'origine anthropique (carrières, sapes de guerres, habitats troglodytiques, souterrains refuges...). Même si l'évaluation de l'aléa diffère quelque peu pour les cavités d'origine naturelle (karst, dissolutions d'évaporites...), les recommandations du présent guide, notamment dans sa partie réglementaire, sont également valables.

En revanche, ce document ne traite pas des risques miniers (gisements concédés par l'État) qui font l'objet d'un document spécifique ¹. Il ne concerne pas non plus des carrières souterraines en activité (en exploitation ou en phase de cessation d'activité) qui relèvent depuis 1994 du régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

Le guide complète les documents techniques spécifiques à cet aléa ² et les guides méthodologiques plus généraux, précédemment édités sur les PPRN ³.

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 inhérentes à cet aléa spécifique.

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

Le guide méthodologique restitue des enseignements tirés des retours d'expérience de l'INERIS, de différents services instructeurs et de 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 des PPRN.

¹ Guide sur l'élaboration des PPR miniers – à paraître.

² Évaluation des aléas liés aux cavités souterraines : guide technique – Collection environnement les risques naturels du LCPC – ISSN 1151-1516 – 2002.

³ Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) ; guide général et guide méthodologique Risques de mouvements de terrain – La Documentation française.

Globalement, il importe de retenir des phases essentielles à l'élaboration des PPRN cavités :

1. La phase de collecte de données est une étape fondamentale pour la qualité de l'analyse. Elle peut être établie à partir des cartes de cavités connues mais exige également, au minimum, une campagne d'inspection sur site (en surface et dans les cavités lorsque cela est possible) ainsi que 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, d'expliquer 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 que les cavités sont susceptibles d'engendrer, à terme, en surface. Elle requiert un niveau d'expertise technique élevé, basé sur la connaissance des milieux souterrains et des différents mécanismes d'instabilité engendrés par les ouvrages souterrains. La méthode d'évaluation proposée s'appuie, en particulier, sur la notion de prédisposition d'un site à développer différents types d'instabilité. Elle doit être expliquée de manière aussi claire et transparente que possible, afin de justifier au mieux les mesures à prendre auprès des futurs gestionnaires et des populations concernées.

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 développements nouveaux d'urbanisme ou d'extensions des constructions existantes. Pour les biens et activités existants, il convient d'identifier les zones urbanisées et les équipements sensibles, mais également les installations, travaux ou ouvrages susceptibles de constituer des facteurs aggravants ou d'engendrer des sur-accidents.

4. La phase réglementaire consiste à délimiter des zones homogènes en termes de risques dans lesquels seront définies des interdictions et des prescriptions adaptées. Pour chaque zone définie, le règlement explicite de manière claire et opérationnelle, les dispositions qui s'appliquent vis-à-vis de l'urbanisme, de la construction et de l'usage du sol, pour ce qui concerne d'abord les projets nouveaux et ensuite les biens et activités existants. Des mesures générales de prévention, de protection et de sauvegarde complètent ces dispositions.

Le document final du PPR comporte, outre un zonage réglementaire et son règlement associé, une note de présentation qui s'appuie sur diverses cartes nécessaires à sa compréhension (cartes informatives, d'aléa, d'enjeux...). Ce document de référence permet de faciliter l'appropriation du PPRN par les populations exposées, notamment par l'explication et la justification des mesures réglementaires.

5. La concertation est menée tout au long de l'élaboration du plan de prévention des risques naturels, en amont même de sa prescription ou de sa mise en révision. Elle doit être entreprise et conduite avec l'ensemble des représentants de l'état, des collectivités et de la société civile. Il appartient au préfet du département d'en définir les modalités aux regards des enjeux et de la sensibilité locale.

Principe d'élaboration des PPRN cavités

Objectifs du PPRN

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 différents outils de prévention vis-à-vis des risques naturels majeurs. Face aux catastrophes majeures du début des années 90 (inondations de Vaison-la-Romaine notamment) et compte tenu du fait que les PER n'avaient pas complètement répondu aux attentes du législateur, l'État décida la création d'un nouvel outil réglementaire, plus opérationnel : le plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN).

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. 562-9 du 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 de 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.

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 interdictions et des prescriptions relevant notamment des règles d'urbanisme, de construction et d'utilisation des projets. Ils définissent également des mesures sur les biens et activités existants visant notamment à la réduction de leur vulnérabilité.

Les PPRN peuvent enfin prescrire aux particuliers et aux collectivités des mesures générales de prévention, de protection et de sauvegarde visant, par exemple, à assurer la sécurité des personnes et à préciser les conditions de sauvegarde.

Les PPRN constituent des servitudes d'utilité publique. À ce titre, ils doivent être annexés aux PLU dans un délai d'un an. En cas d'incohérence entre les deux documents, c'est la règle la plus contraignante qui s'applique. 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.

L'implication et l'engagement des acteurs locaux dans la démarche de prévention sont de toute première importance pour son succès. L'élaboration des mesures du PPRN résulte, de fait, d'une approche concertée entre les représentants de l'État et les responsables des collectivités locales.

Bénéficiant d'un retour d'expérience d'une quinzaine d'années les PPRN se sont désormais imposés comme l'un des outils principaux de la politique nationale de prévention des risques.

Spécificités liées aux cavités

Dans le vaste domaine du risque naturel, la problématique des cavités souterraines présente un contexte très particulier dont il convient de préciser certaines spécificités susceptibles d'influer sur la mise en œuvre des PPRN « cavités ». Plusieurs de ces spécificités sont d'ailleurs bien antérieures aux textes ayant inspiré la politique de prévention des risques majeurs en France (1982).

Cadre réglementaire

■ Propriété des cavités

La propriété des cavités est définie par le **Code civil**, notamment dans ses articles **552, 553 et 1384** ; Il précise que la propriété du fonds (terrain de surface) emporte la propriété et la responsabilité du tréfonds (et ce théoriquement jusqu'au centre de la terre). Hormis le cas spécifique du régime des concessions établies par le Code minier, permettant à l'État de préempter l'exploitation des ressources jugées stratégiques pour la nation, ces notions fondamentales sur le statut de la propriété privée ne sont qu'exceptionnellement amendées par des actes privés (baux, vente séparée du sous-sol, etc.). L'origine du risque se situant le plus souvent au cœur de la propriété exposée, c'est le propriétaire de la surface qui sera responsable des désordres engendrés par une cavité située sous sa parcelle, même si la cavité était inconnue.

Si, dans la majorité des cas, cela ne prête pas à interprétation, la question de la propriété peut s'avérer plus complexe lorsque des cavités existent en pied de falaise. Cette situation se rencontre le plus souvent dans le cas des habitats troglodytiques creusés dans les versants rocheux. Les propriétaires des terrains situés au-dessus de la falaise sont alors responsables des cavités utilisées par les habitants du pied de falaise. Dans ce cas, la logique d'accès, d'entretien et de jouissance de la cavité, voire de la falaise, dépend des limites précises de parcelles et des usages locaux.

■ Information sur les cavités

L'acquisition et le traitement des informations sur les cavités font également l'objet de spécificités dans la réglementation. Diverses dispositions récentes issues de la loi n° 2002-276 (relative à la démocratie de proximité) avant d'être reprises dans la loi n° 2003-699 (relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages, dite loi risques) traitent de ce point particulier. Elles sont désormais transcrites à l'article **L. 563-6 du Code de l'environnement** qui indique notamment que les **communes** ou leurs groupements compétents en matière de documents d'urbanisme élaborent, en tant que de besoin, des **cartes délimitant les sites** où sont situées des cavités souterraines et des marnières susceptibles de provoquer l'effondrement du sol.

Par ailleurs, cet article indique que tout habitant doit informer son maire lorsqu'il a connaissance de l'existence d'une cavité souterraine (ou d'un indice susceptible de révéler cette existence) dont l'effondrement est susceptible de porter atteinte aux personnes ou aux biens. Le refus de transmettre une copie de document comportant de telles informations est puni par une amende (article R. 563-10 du Code de l'environnement).

Opportunité de prescription des PPRN Cavités

L'une des spécificités majeures des cavités relève de la dimension « cachée » de l'aléa souterrain, souvent invisible pour les populations et oublié de tous surtout lorsque les cavités sont anciennes.

Le grand nombre de cavités souvent mal (ou pas) connues qui parsèment le territoire et la diversité des configurations souterraines rencontrées doivent inciter les autorités publiques à étudier attentivement le contexte local avant d'opter pour la solution la plus adaptée à la prise en compte du risque dans l'aménagement du territoire.

La prévention optimale du risque cavités s'inscrit dans une stratégie locale de prévention qui mobilise l'ensemble des outils de prévention disponibles. Le PPRN n'étant en effet pas le seul outil permettant la prise en compte du risque dans l'aménagement du territoire.

■ Autres outils disponibles

– Sur la base du porté à connaissance (L121-2 du Code de l'urbanisme), le **plan local d'urbanisme** (PLU) doit faire apparaître les secteurs à risque et les règles qui peuvent y être associées. Les risques naturels sont également pris en compte lors de l'établissement des cartes communales dont l'objet est de préciser les modalités d'application des règles générales d'urbanisme.

– À plus grande échelle (classiquement plusieurs communes ou groupements de communes), les **schémas de cohérence territoriale** (SCoT), qui visent à mettre en cohérence l'ensemble des politiques sectorielles, notamment en matière d'urbanisme, doivent prendre en compte la prévention des risques. Ils sont opposables aux PLU et aux cartes communales.

– Souvent à l'échelle de la région, les **directives territoriales d'aménagement** (DTA), devenues après la loi Grenelle II du 12 juillet 2010, les **directives territoriales d'aménagement et de développement durables** (DTADD) sont des outils de planification permettant à l'État, sur un territoire donné, de formuler des obligations ou un cadre particulier concernant l'environnement ou l'aménagement du territoire. À titre d'exemple, une DTA a été adoptée en août 2005 (décret n° 2005-918) pour définir les principes de gestion du territoire dans une zone fortement impactée par la présence de très nombreux anciens vides miniers dans le bassin ferrifère lorrain.

– Dans une autre logique, la mise en place de **projets d'intérêt général** (PIG) permet de mettre en œuvre, dans le domaine de l'aménagement du territoire, un projet d'ouvrage, de travaux ou de protection, jugé d'utilité publique.

À ce titre, un PIG peut tout à fait viser une démarche de prévention des risques.

– Beaucoup plus ponctuellement, les demandes de permis de construire peuvent également être refusées au regard de la sécurité publique en application de l'**article R. 111-2 du Code de l'urbanisme**.

■ Critères à examiner

Plusieurs critères permettent aux autorités de décider de l'outil le plus adapté à la démarche de prévention des risques liés aux cavités souterraines :

– **L'échelle de territoire** concerné joue un rôle majeur dans ce choix. À ce titre, l'outil PPRN apparaît bien adapté à une échelle communale, voire intercommunale. Pour des mesures à prendre à une échelle plus vaste, on privilégiera les SCoT ou DTADD. À l'inverse, pour des superficies très limitées, des solutions plus ponctuelles peuvent être privilégiées.

– **L'existence** de nombreux **désordres connus**, récents ou anciens, surtout lorsqu'ils ont présenté un caractère dangereux pour les personnes ou les biens sera de nature à favoriser le recours à l'outil PPRN comparativement aux démarches de type zonage de PLU ou carte communale.

– **La quantité d'informations disponibles** sur la nature et la localisation des cavités fournit également des éléments importants d'appréciation. À ce titre, le PPRN est plus adapté à l'analyse d'un site au sein duquel diverses informations (même incomplètes) existent sur les cavités qu'à l'analyse d'un territoire sur lequel les cavités sont de petite taille, diffuses, mal connues et inaccessibles.

– **La configuration géologique et d'exploitation** des cavités connues ou suspectées est un élément déterminant : On cherchera à identifier prioritairement les sites présentant une conjonction de paramètres défavorables. La méthode d'exploitation adoptée joue souvent

un rôle prépondérant (dimension des piliers, largeur des galeries...) et on retiendra, par exemple dans le cas des carrières, que plus le ratio « hauteur de vide sur épaisseur de recouvrement » est important, plus le risque d'apparition de désordres en surface est élevé. La nature du matériau extrait joue également un rôle majeur ; ainsi, le gypse et la craie, notamment en présence d'eau, sont connus pour être particulièrement sensibles au phénomène de vieillissement (au sens de dégradation des propriétés mécaniques dans le temps), souvent initiateur d'instabilités. La nature des terrains de recouvrement (meubles ou compétents) de même que l'étendue des cavités favoriseront le développement d'instabilités.

– Le dernier critère de choix touche à la nature de **l'occupation de la surface**. La pertinence d'engager un PPRN dépend en effet étroitement du niveau d'enjeux en surface. Ainsi, la prescription de PPRN se justifie plus aisément lorsque les cavités sont situées au sein d'environnements urbains ou au droit de secteurs présentant de forts enjeux (zones pavillonnaires, zones d'activités sensibles, infrastructures de transport...), car le PPRN permet notamment de prescrire des mesures visant à diminuer la vulnérabilité des enjeux existants.

Procédure d'élaboration des PPRN

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. Elle est 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. L'article L. 562-3 du Code de l'environnement précise que le préfet définit, lors de la prescription du PPRN, les modalités de la concertation.

Les services de l'État intégreront ces dispositions en amont puis tout le long de la démarche d'élaboration du PPRN. Pour faciliter la concertation, une circulaire rédigée dans le cadre de réflexions menées 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.

L'élaboration d'un PPRN doit être conçue comme un projet construit, à chaque étape et dès avant sa 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.

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 démarche.

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 termes 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.).

Ainsi, s'il demeure relativement courant que des PPRN cavités soient prescrits, par défaut, sur l'ensemble d'un territoire communal, ils peuvent également l'être que sur une simple partie du territoire de la commune ou s'étendre sur plusieurs communes limitrophes.

Dans son arrêté de prescription, le préfet, maître d'ouvrage, désigne le service déconcentré de l'État (couramment appelé service instructeur), qui sera chargé d'élaborer le PPRN. Cet arrêté définit également les modalités de la concertation et de l'association des collectivités territoriales et des Établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) concernés par l'élaboration du projet.

L'association des collectivités à l'élaboration du projet et la concertation du public peut prendre plusieurs formes :

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

Par ailleurs, pour tous les PPRN prescrits à compter du 1^{er} janvier 2013, l'arrêté de prescription mentionne si une évaluation environnementale est requise en application des dispositions de l'article R. 122-18 du Code de l'environnement (décret n° 2012-616 du 2 mai 2012). Lorsque la décision de soumettre (ou non) le PPRN à évaluation environnementale est explicite, elle est annexée à l'arrêté de prescription.

Élaboration

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

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 devant obligatoirement constituer le dossier du PPRN (art. R. 562-3 du Code de l'environnement) sont :

- **la note de présentation** indiquant le secteur géographique concerné, la nature des phénomènes naturels pris en compte et leurs conséquences possibles, compte tenu de l'état des connaissances. 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 informative 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 et les mesures applicables aux biens et activités existants. Le cas échéant, certaines de ces mesures peuvent être rendues obligatoires dans un délai n'excédant pas 5 ans.

Consultations et enquête publique

L'ensemble des conseils municipaux et les organes délibérants des 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). En fonction du contexte, le conseil général, le conseil régional, la chambre d'agriculture et le centre régional de la propriété foncière seront également consultés.

Si ces collectivités ou organismes ne rendent pas d'avis dans un délai de deux mois, ces avis sont réputés favorables. Dans tous les cas, une collaboration avec les différents services de l'État sera utile à la mise au point du projet avant ces consultations.

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 R. 123-2 à R. 123-24 du Code de l'environnement. À l'occasion de cette enquête, les maires concernés sont auditionnés par le commissaire enquêteur.

Approbation

Le décret n° 2011-765 du 28 juin 2011 modifiant l'article R562-2 du Code de l'environnement prévoit que le PPRN soit approuvé dans les trois ans qui suivent sa prescription. Ce délai est prorogeable une fois d'une durée maximale de 18 mois par arrêté motivé du préfet, si les circonstances l'exigent, notamment pour prendre en compte la complexité du plan ou l'ampleur et la durée des consultations.

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. Ces formalités, définies à l'article R. 562-9 du Code de l'environnement, comprennent la mention de l'arrêté au Recueil des actes administratifs de l'État dans le département et dans un journal diffusé dans le département, ainsi que l'affichage d'une copie de cet arrêté pendant un mois au moins dans chaque mairie et au siège de chaque établissement public de coopération intercommunale compétent pour l'élaboration des documents d'urbanisme sur le territoire desquels le plan est applicable.

Application anticipée

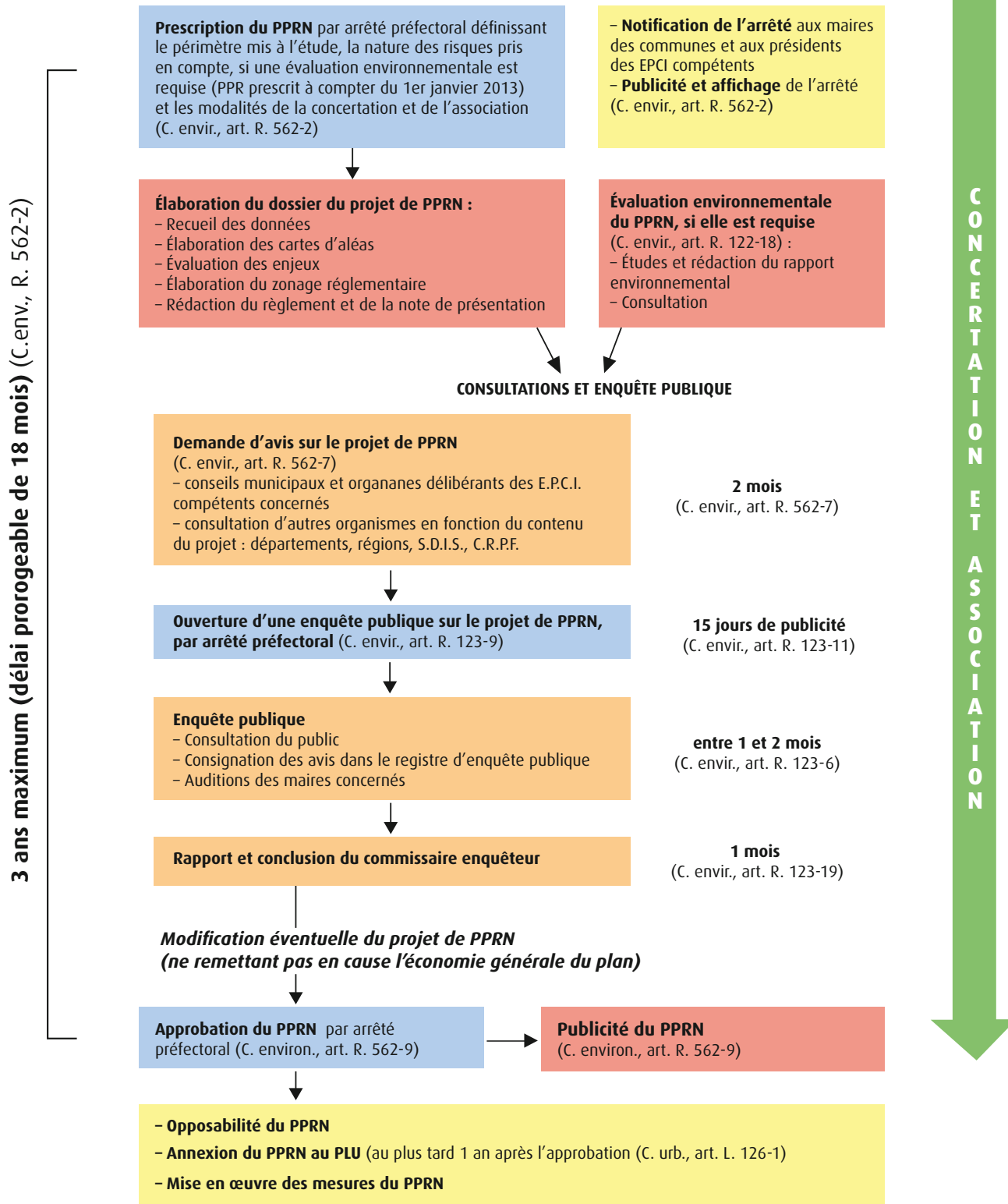
En cours d'élaboration, et si l'urgence le justifie, le préfet peut rendre certaines dispositions du projet de PPRN immédiatement opposables en application de l'article L. 562-2 du Code de l'environnement.

Ces dispositions ne peuvent concerner que les projets nouveaux et ne visent que les zones dans lesquelles il est réglementé. Le préfet peut, après consultation des maires concernés, les rendre immédiatement opposables à toute personne publique ou privée par une décision rendue publique. Ces dispositions cessent d'être opposables si elles ne sont pas reprises dans le plan approuvé.

Procédures de révision et de modification des PPRN

Lorsque les circonstances l'exigent (évolution des facteurs naturels ou de la connaissance du problème, prise en compte de travaux importants de sécurisation), 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

SCHÉMA D'ELABORATION D'UN PPRN



tion, consultation, approbation (article R. 562-10 du Code de l'environnement).

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 qu'une partie de cette commune, l'enquête publique se limite à cette commune, ce qui contribue à simplifier la procédure.

Le décret n° 2011-765 du 28 juin 2011 a également mis en place une procédure de modification du PPRN sans enquête publique (articles R. 562-10-1 et R. 562-10-2 du Code de l'environnement). Cette procédure simplifiée peut être utilisée à la condition que la modification ne porte pas atteinte à l'économie générale du plan et qu'elle ait notamment pour objectif de :

- rectifier une erreur matérielle ;
- modifier un élément mineur du règlement ou de la note de présentation ;
- modifier le zonage réglementaire du PPRN, pour prendre en compte un changement dans les circonstances de fait.

En lieu et place de l'enquête publique, le projet de modification et l'exposé de ses motifs sont portés à la connaissance du public en vue de permettre à ce dernier de formuler des observations pendant le délai d'un mois précédant l'approbation par le préfet de la modification. La circulaire du 28 novembre 2011 précise les modalités de recours à cette procédure.

Autres effets de la mise en œuvre d'un PPRN

Outre les mesures portant sur l'aménagement du territoire décrites ci-avant, la mise en œuvre d'un PPRN induit différentes mesures pour le territoire concerné.

Ainsi, simultanément à l'arrêté préfectoral de prescription, le Préfet doit signifier au Maire, par arrêté, les informations relatives aux risques majeurs affectant le territoire communal pour que puissent être mises en œuvre les modalités d'information des locataires et acquéreurs (IAL).

L'approbation commande, pour sa part, au maire d'informer régulièrement (tous les 2 ans) la population sur les risques majeurs touchant

la commune. Dans les deux ans suivant cette approbation, la commune doit également se doter d'un plan communal de sauvegarde (PCS) qui intègre le dossier d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM).

Dès qu'un PPRN est prescrit sur une commune, un financement du fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM) peut être attribué aux collectivités et à leurs groupements prenant la maîtrise d'ouvrage d'études et de travaux permettant de réduire la vulnérabilité des personnes et des biens dans une démarche globale de prévention. Le montant maximum de la subvention s'élève alors pour les études générales à 50 % et varie pour les travaux de 25 % à 50 % en fonction de leur nature et de l'état d'avancement du PPRN.

Le FPRNM intervient également pour subventionner à hauteur de 40 % les mesures rendues obligatoires par le PPRN pour les biens existants des particuliers et des entreprises de moins de 20 salariés.

Il est important de rappeler que même sans PPRN prescrit ou approuvé sur une commune, le FPRNM permet par ailleurs d'apporter aux particuliers un financement à hauteur de 30 % pour les opérations de reconnaissance des cavités souterraines et des marnières, dont les dangers pour les constructions ou les vies humaines sont avérés, ainsi que pour le traitement ou le comblement des cavités souterraines et des marnières qui occasionnent des risques d'effondrement du sol menaçant gravement des vies humaines, dès lors que ce traitement est moins coûteux que la délocalisation.

Enfin, l'existence d'un PPRN peut moduler la franchise à déduire des sommes perçues au titre du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles, mais il convient de souligner que cette modulation ne sera définitive qu'avec l'approbation du PPRN.

La valorisation des données du PPRN

Le géostandard de données Covadis PPR peut être utilisé par les personnes concernées par l'élaboration, l'administration et la réutilisation des données géographiques de PPRN ou PPRT.

Ce géostandard propose un cadre technique (modélisation et structuration des données) visant à rendre les données du PPR homogènes et interopérables. Il permettra à terme de comparer, échanger, agréger, retravailler les données cartographiques portant sur une ou des zones réglementées.

Le géostandard définit une standardisation des données cartographiques contenue dans :

- la carte représentant les aléas ;
- la carte représentant les enjeux dont une liste non exhaustive est proposée dans le document support du géostandard ;
- la carte réglementaire ;
- le règlement des zones.

Ce géostandard est téléchargeable (document explicatif et table SIG) sur internet (voir les références).

SCHÉMA DES MESURES MOBILISABLES POUR LA PRÉVENTION DES RISQUES LIÉS AUX CAVITÉS SOUTERRAINES

MESURES GÉNÉRALES HORS PPRN

Politique globale
Commission et schéma de prévention départementaux

Études et travaux
Subvention en FPRNM aux particuliers pour études et traitement des cavités

Sécurité publique
Pouvoirs de police du maire et du préfet

Mémoire du risque
Obligation d'informer DICRIM-DDRM
Cartographie des cavités par la commune ou l'EPCI

Aménagement : Prise en compte des risques dans les documents d'urbanisme : SCOT / PLU / carte communale R111-2

Délocalisations
Financements par le FPRNM des délocalisations dans les situations les plus graves

MESURES COMPLÉMENTAIRES SI PPRN

Commune avec PPRN prescrit

Information acquéreurs - locataires



Arrêt provisoire de la modulation de franchise



Subventions aux collectivités par le FPRNM des études et des travaux s'inscrivant dans une démarche globale de prévention

Commune avec PPRN approuvé

Information de la population par le maire



Arrêt définitif de la modulation de franchise



Préparation à la crise : Plan Communal de sauvegarde



Subventions aux particuliers et aux entreprises de moins de 20 salariés des études et des travaux imposés sur les biens existants



Subventions aux collectivités par le FPRNM des études et des travaux s'inscrivant dans une démarche globale de prévention

Description des phénomènes et des mécanismes d'instabilité

Le creusement de cavités, dans une optique d'exploitation de matériaux ou simplement pour disposer d'espaces souterrains, 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 approfondie 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 géologique permet tout d'abord de délimiter globalement l'influence spatiale du désordre :

- des cavités situées au sein de couches sédimentaires sub-horizontales constituent une configuration défavorable du fait de l'extension potentielle des vides et donc de la superficie de territoire exposé ;
- dans le cas des gisements pentés, l'inclinaison de la couche exploitée peut 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'af-

fleurement, 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.

Les conditions d'altération et de fracturation varient au sein du massif rocheux selon la profondeur du gisement. Ces critères influent 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 :

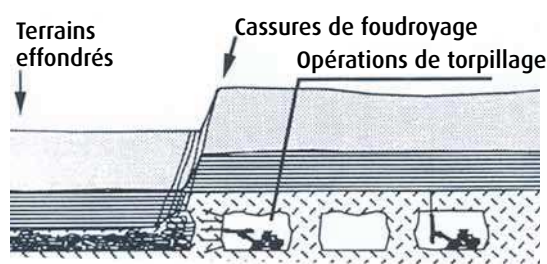


Schéma en coupe d'une exploitation par foudroyage (INERIS)

- les exploitations où la méthode d'extraction a assuré la disparition intégrale (ou quasi intégrale) des vides souterrains (foudroyage, remblayage, etc.) ;
- les exploitations, souvent étendues, où la stabilité des vides résiduels est principalement assurée par les piliers laissés en place pour soutenir le toit (exploitation par chambres et piliers) ;



Ancienne exploitation par chambres et piliers (INERIS)

– les vides qui prennent la forme de chambres vides (catiches dans la craie, marnières, ardoisières) ou de galeries isolées (refuges souterrains, 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, soudaineté, etc.) dépendent étroitement de la dimension des vides souterrains et de leur profondeur.

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.

La dégradation des ouvrages laissés en l'état au fond (piliers et toit) est inéluctable avec le temps.



Photos d'une carrière de craie (INERIS)

En outre, les effets de multiples facteurs aggravants, d'origine naturelle (fatigue des matériaux, variation du niveau de la nappe), ou anthropique (vibrations, apport d'eaux usées), peuvent accélérer ces évolutions et entraîner à terme la ruine de la cavité et le développement de mouvements de terrains plus ou moins graves et rapides en surface.



Vues d'un même pilier en 1996, 2000 et 2005 (INERIS)

Affaissement

On parle d'affaissement, au sens large, pour les exploitations menées à assez forte profondeur et avec des extensions horizontales importantes. Ce phénomène est donc plus caractéristique des exploitations minières, 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 souterraines partiellement (ou mal) remblayées ou ayant fait l'objet de méthodes d'exploitation particulières (par affaissement dirigé ou hagues et bourrages).

En l'absence d'appuis au fond, la rupture du toit de l'exploitation se propage de façon progressive dans les terrains de recouvrement, et se traduit en surface par le réajustement du sol, sans rupture cassante importante. La nature des terrains de couverture (formations peu cohérentes et souvent plastiques) et la faible ouverture des vides à l'origine sont les principaux critères de ce type de phénomène.

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.), particulièrement sensibles en bordure de la cuvette d'affaissement.

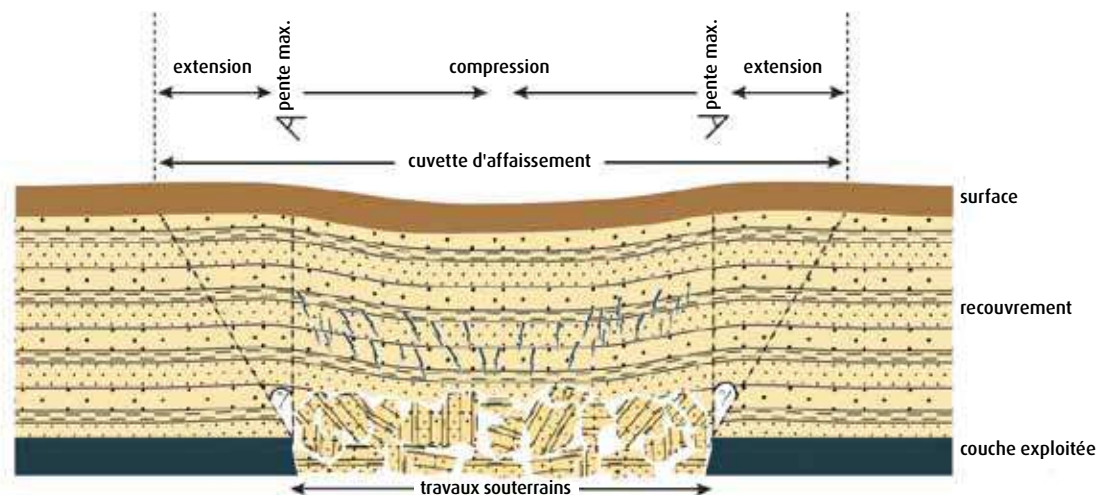
En fonction de l'emplacement des enjeux par rapport à la cuvette, ces déplacements horizontaux peuvent prendre la forme de raccourcissements (zones en compression vers l'intérieur de la cuvette) ou d'extensions (zones en traction vers l'extérieur de la cuvette).

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.).



Photo d'une exploitation par hagues et bourrages (INERIS)

Schéma d'un affaissement (INERIS)





Exemples d'affaissements en surface – souterrain refuge (INERIS) et marnière (CETE Normandie-Centre)

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.

Pour les exploitations assurant un traitement intégral des vides (foudroyage dirigé), 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.

Effondrement localisé

Le phénomène d'effondrement localisé, couramment dénommé fontis, se manifeste classiquement par l'apparition soudaine d'un cratère d'effondrement.

Ce type de phénomène peut avoir pour origine plusieurs mécanismes de rupture qui peuvent se développer seuls ou de manière concomitante et qui génèrent en surface des trous dont l'extension varie de moins d'un mètre de diamètre à quelques dizaines de mètres au maximum.

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.



Exemples d'effondrement localisé lié à la rupture d'un puits d'accès de marnière (INERIS, CETE)

Ce débouillage peut engendrer une rupture du revêtement du puits et un effondrement des terrains environnants. 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 (plâlage 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.

Rupture de toit (ou ciel) de galerie

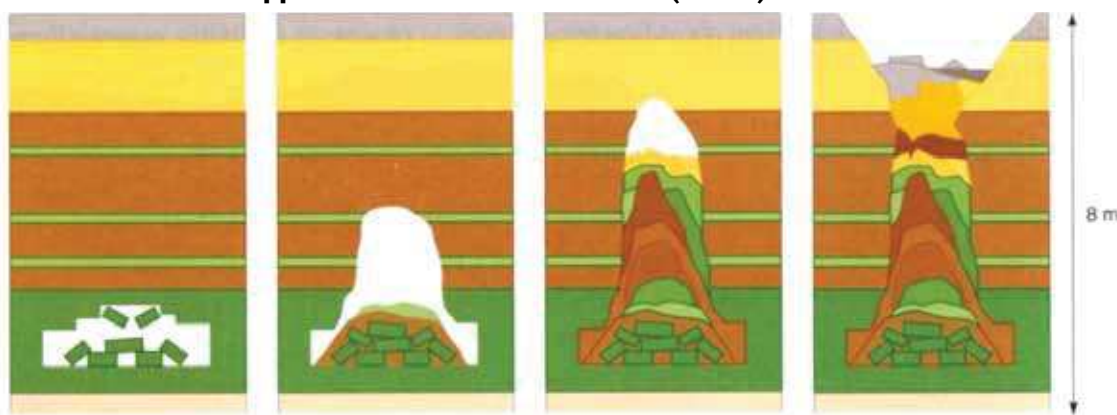
L'instabilité peut également résulter de la remontée en surface d'un éboulement initié au « toit » d'une cavité. Lorsque la voûte initiée par la rupture du premier banc rocheux ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface.



Développement d'une cloche de fontis (INERIS)

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, inclinées, en fonction de la nature des terrains situés au-dessus de la cavité.

Schéma du développement d'une cloche de fontis (INERIS)



Rupture de toit avec chutes de blocs dans une ancienne exploitation.

Début de formation d'une cloche de fontis. Un cône d'éboulis commence à se former.

La cloche de fontis continue à se développer vers la surface. Le cône d'éboulis a rempli la cavité souterraine.

Suite à l'altération des terrains superficiels, le fontis prend une forme d'entonnoir stable.

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 si les terrains de couverture sont peu cohérents ou contiennent une nappe perchée).



Conséquences d'un fontis en surface (INERIS)

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 de profondeur, l'apparition de fontis ne pouvait être catégoriquement exclue, sans analyse préalable.

Rupture de pilier isolé

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.



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

La dimension du cratère est généralement plus importante puisque la surface déstabilisée au fond correspond au moins au pilier ruiné et aux galeries adjacentes. 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 de la ruine localisée d'un appui.

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.).

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 défrètement (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 trouvent leur origine dans une ruine générale des piliers, associée à la rupture concomitante des terrains de recouvrement et se développent, de fait, 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).

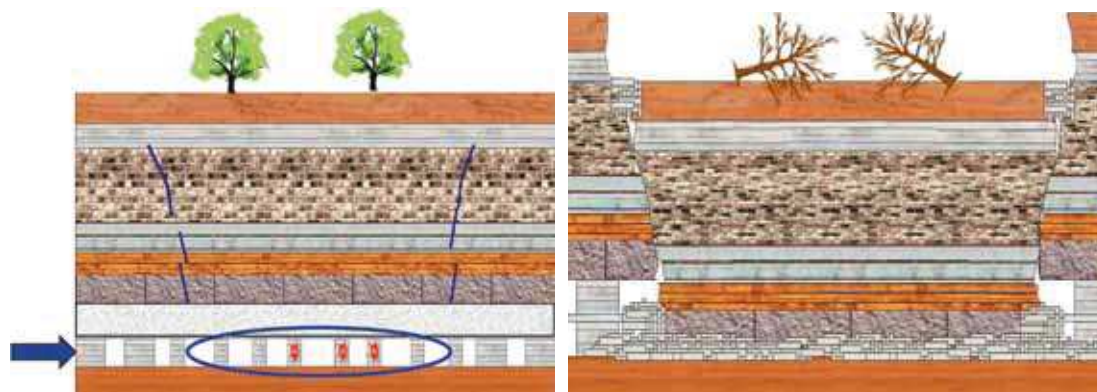
Lorsque ces bancs plus résistants finissent par se rompre, ils entraînent le report brutal de l'ensemble du poids du recouvrement sur les piliers sous-jacents qui, incapables de résister à la charge, se rompent alors en chaîne.

Pour des profondeurs d'exploitation relativement faibles comme c'est le cas de la très grande majorité des carrières souterraines, ces phénomènes entraînent un effondrement de terrain d'une grande superficie, bordé généralement de cassures et de crevasses prononcées.



Cassures en bordure d'effondrement généralisé (INERIS)

Schéma d'un effondrement en masse





Exemple d'un effondrement en masse – Saint-Émilion (conseil général 33)



Cuvette créée par un effondrement généralisé (INERIS)

Ces phénomènes, heureusement exceptionnels, sont susceptibles de générer 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 soudaine et brutale.

Lorsque les terrains sont en pente, les effondrements généralisés peuvent provoquer des glissements de terrain en bordure de cratère

et affecter des zones situées nettement en dehors de l'emprise des secteurs sous-cavés.

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



Cassures en bordure d'effondrement et glissement associé en amont d'une zone effondrée (INERIS)

Collecte des données

La phase de recherche de données, parfois également appelée « phase informative » d'un PPRN a pour principal 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 contribue à 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.

Objectifs fondamentaux

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

- soit des exploitations très anciennes, parfois 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 décisifs (sondage ayant rencontré du vide, plans recalés...) et ceux inconnus ou incertains (indications évasives sur plans d'exploitation, indices non validés en surface, etc.). Il convient aussi de présenter les imperfections possibles du fond topographique utilisé, en particulier en cas de recalage de plans d'échelle et d'origine différentes.

Collecte des informations

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 par le maire de la commune.

En tout état de cause, les communes ou les groupements de communes concernés, doivent le cas échéant, en vertu de l'article L. 563-6 du Code de l'environnement, réaliser des cartes délimitant les sites où sont situés des cavités souterraines. Ces cartes sont établies en y associant toutes les personnes susceptibles d'être en possession d'informations sur la présence de vides. 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 divers événements historiques relatifs aux mouvements de terrain dont les effondrements.

protection civile (SIDPC) de la préfecture et sur le site internet www.prim.net.

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

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'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) qui possèdent, fréquemment, des dossiers, même minimaux, concernant les anciens sites d'extraction souterrains.

Dans bon nombre de cas, c'est toutefois au sein des archives départementales (où la DREAL 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 desquelles il existe presque systématiquement un sous-répertoire « mines et carrières ». Au milieu de nombreux documents administratifs, il est alors parfois pos



Site internet de la bdcavité

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 à titre d'exemple et sans prétention d'exhaustivité, les inspections générales des carrières de Paris et de Versailles, les services spécifiques des conseils généraux du Nord, de Gironde, du Maine-et-Loire, le syndicat intercommunal cavités 37 ainsi que les services municipaux des carrières de Laon ou de Caen, etc. Dans ce cas, la durée et l'exhaustivité de la collecte de données sera grandement facilitée.

Les dossiers d'arrêtés catastrophes naturelles peuvent également constituer des sources précieuses de renseignement (tant sur l'aspect spatial de l'événement que sur la connaissance du phénomène) et sont consultables auprès des services interministériels de défense et de la

sible de retrouver un ancien plan d'exploitation transmis au service des mines chargé du contrôle des carrières 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.

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 sociétés savantes 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...). 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 internet de l'IGN et, pour les plus anciens clichés, consultables à la photothèque de Saint-Mandé.

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 s'appuient sur une approche naturaliste basée sur la connaissance en l'état complétée d'une démarche d'expertise.

À ce titre, lorsque l'accessibilité et les conditions de sécurité l'autorisent, l'expertise visuelle des cavités doit être privilégiée. Elle permet d'enrichir la connaissance et de valider ou de



Reconnaissances géotechniques en carrière (INERIS)

préciser les plans d'exploitation existants ou, si nécessaire, de les lever.

Elle fournit également des informations essentielles sur la (ou les) méthode(s) d'exploitation mise(s) 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 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, dans des puits verticaux ou dans les remontées de fontis en s'attachant à identifier :

- 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) ;
- en ce qui concerne les critères hydrauliques, on repèrera les fractures drainantes, en surface les lignes de sources (témoignant de la pré-

sence 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.



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

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 sont l'occa-

sion 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.

Carence d'information et incertitudes

Il arrive qu'une partie des informations sur la présence des cavités soit inexistante ou ait été 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 notes d'intentions d'exploitation (parfois accompagnés de vieux plans) sans autre possibilité de recouper l'information.

Enfin, lors de visites en souterrain, 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 termes 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, le niveau piezométrique de la nappe (et si c'est possible sa variation au cours du temps) ;
- 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 incertitudes 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.

Restitution

La carte informative des phénomènes passés doit représenter 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, n'ait été clairement expliquée.

La carte informative, qu'il est vivement recommandé de présenter aux principaux partenaires dès qu'elle est disponible, doit faire clairement ressortir les éléments essentiels (désordres ou nuisances passés et/ou présents, données

géologiques et géotechniques, plans d'exploitation, ouvrages débouchant au jour, etc.). Elle doit alors être accompagnée de tableaux de données traçant l'origine des diverses informations, les dates des désordres et les emplacements exacts lorsqu'ils sont connus.

Les ouvrages de protection et les travaux de confortement connus peuvent également y être référencés.

L'utilisation d'un fond ortho-photo ou 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 avec tableau correspondant à des désordres renseignés et aux contours connus

	Nature	lieu		Date	Source	Obs.
D1	Affaissements	rue des creuttes		1920 - 1921-1956	archives commune	
D2	Affaissement	Impasse M Berthelot			presse	
D4	Effondrement	rue Carnot	Diam > 10 m- prof 8m	1991	Mairie	suite fortes pluies
D8	fontis		< 3m		archives commune	
D9	fontis		prof 5 m		archives commune	Eff. Cavage
D10	fontis		surf. 10 m ²	1989	BRGM	Bd mvt
S3	sondage	2 rue Carnot	Prof 25 m	1995	BRGM / CEBPT	pas de vide
S4	sondage	Rue E Lavisse	Prof 15 m	1988	BRGM/ ESF	remblais 0 - 11,5 m
S1	sondage		prof 10 m	1930	SNCF	
G1	cavage	voie SNCF		1930	SNCF	
G2	cavage	rue Saint Just	cavage		Mairie	
G4	puits				Mairie	
G5 - G6	cavage		passage sous voie			

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. De même, on peut être amené à « reprendre » un plan d'exploitation par la technique de distorsion géométrique afin d'optimiser le positionnement des contours à l'aide de différents points de calage jugés fiables (puits, entrée de galerie...). 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 en zone rurale et le 1/5 000 au mieux en zone urbaine. Le fait de réaliser un agrandissement « photocopieuse » d'un fond IGN au 1/25 000, 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.

Complications possibles et recommandations

La réalisation d'études complémentaires d'intérêt général, comme les études hydro-géologiques ou plus ponctuelles du type reconnaissance de vides, sont théoriquement possibles dans le cadre de l'élaboration des PPRN. Une application ponctuelle et limitée au seul domaine privé les rend toutefois difficile à justifier au regard de l'intérêt public 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 de préciser les limites des vides, à des échelles très précises, compatibles avec le 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.

Évaluation des aléas

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.

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 l'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** correspondant à l'échéance centennale. 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 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 plus délicate à appréhender et à quantifier que l'intensité.

Quelle que soit la nature des événements, 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 d'instabilité pressentis.

Notion d'aléa de référence

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

rain 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.

La notion d'**aléa de référence** est définie comme l'aléa correspondant au plus important événement historique connu dans le site étudié, sauf si l'analyse du site conduit à considérer comme vraisemblable à échéance centennale un événement d'encore plus grande ampleur.

Cet aléa de référence correspondra au niveau d'aléa le plus élevé sur le site.

Ainsi, lorsque la phase informative a été menée de manière efficace et que des informations suffisamment précises et nombreuses en terme de désordres passés ont été recueillies, cette démarche d'identification de l'aléa de référence est considérablement simplifiée.

Qualification de l'intensité de l'aléa

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 (de 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. 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, victimes isolées possibles, accidents collectifs, catastrophe majeure, etc.);

- pour les conséquences des événements 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'avérerait nécessaire d'entreprendre pour prévenir tout désordre ou réparer les dommages engendrés.

Qualification de l'intensité pour les affaissements localisés

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 et activités, 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.

Hiérarchisation des classes d'intensité pour un affaissement de terrain

Classe d'intensité	Mise en pente des terrains (en %)
Très limitée	$P < 1$
Limitée	$1 < P < 3$
Modérée	$3 < P < 6$
Élevée	$P > 6$

Qualification de l'intensité pour les effondrements localisés

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

Hiérarchisation des classes d'intensité pour un effondrement localisé

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	$\emptyset > 10 \text{ m}$

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.

Qualification de l'intensité pour les effondrements 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 défructement), peut mettre en péril la sécurité des personnes et des biens situés dans l'emprise de l'instabilité.

Hiérarchisation des classes d'intensité pour un effondrement généralisé

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

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.

Tableau récapitulatif des classes d'intensité

Le tableau ci-après propose un récapitulatif des classes d'intensité des phénomènes 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'événement 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 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.

Récapitulatif des classes d'intensité

Classe d'intensité	Phénomènes	Principaux critères de jugement (non exhaustifs)	Conséquences redoutées
Très limitée	Affaissement	Mise en pente < 1 ‰	Désordres uniquement perceptibles pour les ouvrages sensibles.
	Effondrement localisé	Effondrements auto-remblayés à proximité de la surface	« Flache » de profondeur centimétrique.
Limitée	Affaissement	Mise en pente < 3 ‰	Désordres légers de types fissures isolées sans atteintes aux fonctionnalités du bâtiment.
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement < 3 m	Trou éventuellement profond mais suffisamment étroit pour ne pas affecter immédiatement une fondation classique.
Modérée	Affaissement	Mise en pente < 6 ‰	Fissures visibles à l'extérieur. Les portes et fenêtres coincent et certaines canalisations se rompent.
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement < 10 m	Cratère + ou - profond et suffisamment large pour ruiner une construction récente en béton même sur radier.

Classe d'intensité	Phénomènes	Principaux critères de jugement (non exhaustifs)	Conséquences redoutées
Élevée	Affaissement	Mise en pente > 6 ‰	Désordres structuels importants. Bâtiments inhabitables.
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement > 10 m	Cratère important avec parois abruptes et risque d'engloutissement du bâti.
Très élevée	Effondrement en masse de la surface	Effondrement en masse	Ruine complète et immédiate de plusieurs constructions. Crevasses périphériques.

Qualification de la probabilité d'occurrence

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 récurrents, 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 terme 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 différentes parties prenantes impliquées dans l'élaboration puis la mise en œuvre

du PPRN. À ce titre, deux notions primordiales doivent être prises en compte dans cette justification : la prédisposition à la rupture et la présomption de présence de vides.

■ 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 de ces indices contribuera à augmenter la prédisposition à ce type de phénomènes.

L'examen géotechnique des cavités souterraines, lorsqu'elles sont visitables, conforte également le jugement de l'expert sur les niveaux de prédisposition à la rupture. 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.) constituent ainsi 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 augmenter 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** (sur les 100 prochaines années) et de tenir compte du vieillissement inéluctable du matériau rocheux et de sa dégradation mécanique dans le temps. À ce titre, on rappellera que certains matériaux sont particulièrement évolutifs à court terme comme le gypse ou les argiles.

■ 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'information partielle ou totale, 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 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, lorsqu'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. Le principe de hiérarchisation de ces classes est proposé dans le tableau suivant.

Principe d'évaluation de la classe de probabilité d'occurrence en croisant la présomption de vides et la prédisposition à la rupture

Prédisposition à la rupture \ Présomption des vides	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Improbable	FAIBLE À FORTE		
Probable			
Très probable, voire certaine			

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.

Qualification de la probabilité d'occurrence pour les affaissements

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, 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 (ancien effondrement ou foudroyage contrôlé).

Qualification de la probabilité d'occurrence pour les effondrements localisés

Plusieurs mécanismes différents, par rupture isolée de pilier, chute de toit ou débouillage de l'orifice (puits, cavage), peuvent donner naissance à un effondrement localisé en surface, souvent dénommé **fontis**. Si la manifestation en surface est similaire, le type de mesure envisageable pour s'affranchir du risque peut donc différer radicalement en fonction du mécanisme d'origine.

Il est ainsi vivement recommandé, dans les secteurs exposés à un aléa **effondrement localisé**, de bien différencier les types de rupture présumée (ruine des piliers, chutes de toit ou débouillage de puits).

Dans les deux cas, la prédisposition d'un site à voir se développer un effondrement localisé dépend de la ruine de l'ouvrage souterrain et du mode de remontée de l'instabilité jusqu'en surface.

■ **Prédisposition à la rupture et à l'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.

■ **Prédisposition à la 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 défrètement local et de la profondeur des vides) ;
- des caractéristiques des piliers concernés (résistance du pilier, sensibilité à l'eau, section, élancement, forme, régularité, présence de failles ou d'accidents structuraux, mauvaise superposition, etc.).

■ Prédiposition au débouillage de puits

En ce qui concerne l'effondrement lié à la rupture d'un orifice vertical débouchant au jour (puits), 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 prédiposition du site à la rupture ;
- le débouillage 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 prédiposition du puits à subir un débouillage.

■ Prédiposition 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 prédiposition 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 prédiposition 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 prédiposition aux remontées de fontis devient négligeable pour des galeries de dimensions classiques (présentant une hauteur inférieure à 4 m).

On intégrera également à l'analyse la présence et l'épaisseur de terrains sans cohésion en subsurface 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.

Qualification de la probabilité d'occurrence pour les effondrements généralisés

Les prédipositions au développement d'un effondrement généralisé (ou en masse) se retrouvent essentiellement dans des anciennes exploitations étendues menées par chambres et piliers.

■ Prédiposition de l'ouvrage souterrain à la rupture

La prédiposition de l'ouvrage à la rupture 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 défrètement, 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.) ;
- de 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.

■ Prédiposition 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.

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.

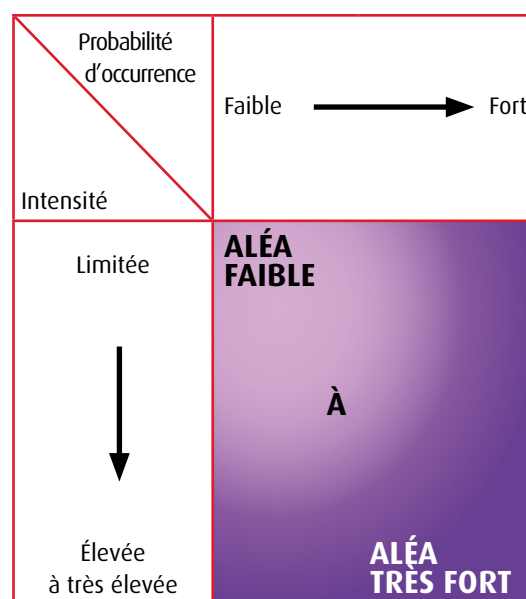
Le principe de hiérarchisation est présenté dans le tableau suivant. Chaque site étant spécifique, ce type de tableau devra être adapté au contexte qui le caractérise.

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

Il faut cependant préciser que beaucoup de sites sous-cavés en France ne présentent pas de configurations prédisposant à l'intensité maximale du type effondrement en masse. De fait, sur de nombreux sites, l'aléa le plus élevé peut ne correspondre qu'à une classe moyenne (de type effondrement localisé par exemple) sans qu'une classe forte ne soit obligatoirement retenue.

À ce titre, on gardera en mémoire que 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.

Mode de hiérarchisation des classes d'aléa



Cartographie de l'aléa

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.

Le fond cartographique utilisé pour le zonage de l'aléa est en général le fond topographique IGN à l'échelle du 1/25 000, éventuellement agrandi au 1/10 000. Dans certains cas très particuliers (zone urbaine riche en événements) on pourra utiliser un plan au 1/5 000, s'il existe. 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.

EXEMPLE D'UNE GRILLE DE HIÉRARCHISATION DES CLASSES D'ALÉA

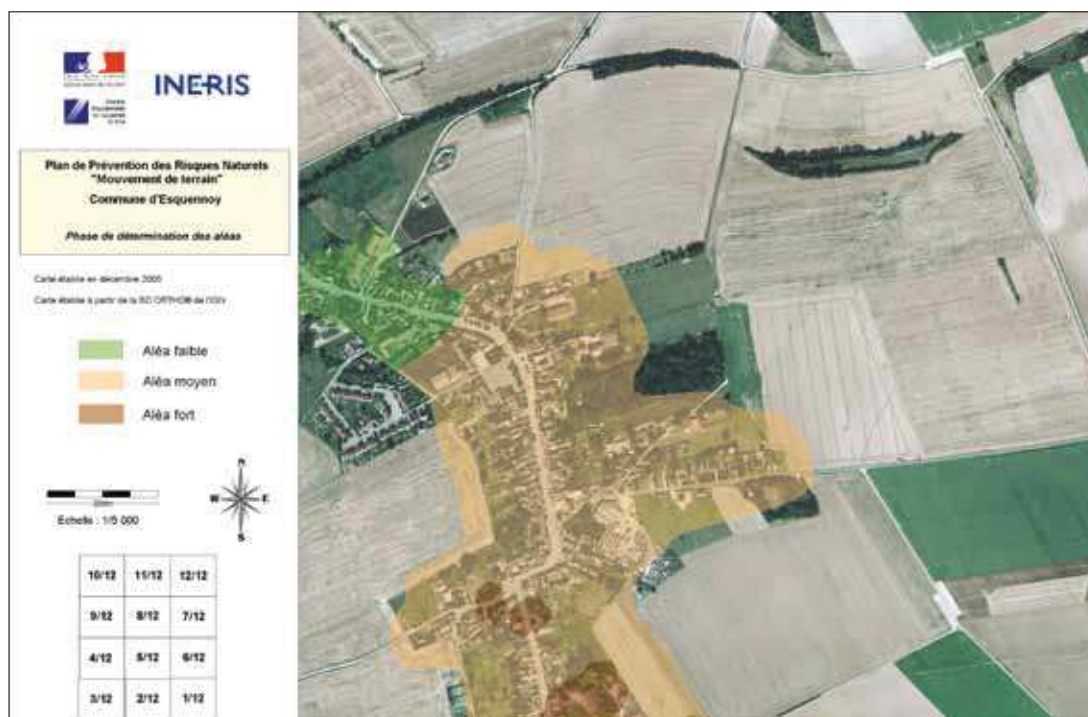
Probabilité d'occurrence Intensité	faible	moyenne	forte
Très limitée (affaissements et effondrements autoremblayés)	faible	faible	moyen
Limitée (affaissements nets et petits fontis)	faible	moyen	moyen
Modérée (effondrements localisés)	moyen	moyen	fort
Élevée à très élevée (fontis importants et effondrement généralisé)	moyen	fort	très fort

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 du nombre de phénomènes concernés et de l'intérêt de différencier les phénomènes en vue du travail de zonage réglementaire à suivre.

Les couleurs des différentes classes d'aléas sont proposées par le géostandard Covadis PPR.

Les couleurs des classes d'aléas ne doivent pas porter à confusion avec celles classiquement utilisés pour le zonage réglementaire.

Comme pour la carte informative, l'utilisation d'un fond cartographique permettant un bon repérage des limites des zones exposées doit être recherchée. Si la BD topo n'est pas utilisée, la photo aérienne peut être retenue (voir figure ci contre). Ce fond qui reste performant en terme de communication, est cependant insuffisant si la cartographie de l'aléa se réfère, en partie, à des critères topographiques. En outre, les couleurs affichées ne ressortent pas toujours de manière claire.



Exemple de cartographie de l'aléa reportée

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 :

- aux contours des vides 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 précédemment, qui vise 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 les contours 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. Le fait de disposer de documents cartographiques n'est donc pas une fin en soi. Il est en effet nécessaire de les recaler sur un plan de surface actualisé.

En fonction du choix du fond topographique et malgré l'attention portée au report, une incertitude demeure généralement sur la précision du document cartographique, ce qui explique la prise en compte d'une marge d'incertitude.

Suivant la qualité du fond cartographique, 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.

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

■ Extension latérale possible des désordres en surface (dite 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.

La prise en compte d'une marge de reculement est obligatoire pour tenir compte de la possible apparition de désordres sous des parcelles non directement sous-cavées. L'angle de rupture des terrains de recouvrement dépend

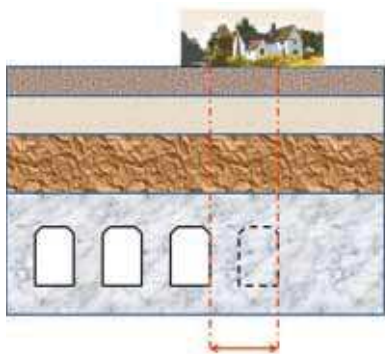
étroitement de leur nature. Ainsi, plus un terrain est cohérent, plus l'angle de rupture est proche de la verticale. À l'inverse, des terrains bouillants comme certains sables aquifères peuvent présenter des angles de rupture voisins de 45°. En analysant la nature et la pente des terrains constituant 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.

Dans la marge de reculement, la zone d'extension du désordre sera affectée du même niveau d'aléa que celui à 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.

■ Marge de sécurité

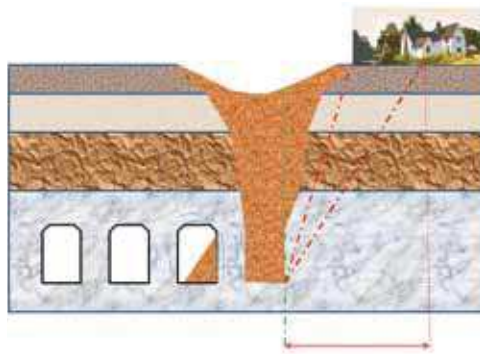
La prise en compte individuelle ou cumulée (selon les cas) de ces deux marges représente la **marge de sécurité** qui permet de définir l'auréole de la zone à risque susceptible de déborder du strict contour des travaux souterrains.

Schéma définissant le concept de marge d'incertitude sur les contours des vides (INERIS)



Marge d'incertitude sur le contour des cavités
(correspondant dans l'exemple à la largeur supplémentaire d'une galerie et d'un pilier)

Schéma définissant le concept de marge de reculement (INERIS)



Marge de reculement (susceptible d'être affectée par un effondrement ou de subir des tassements modérés et différés)

Remarques et recommandations

D'une manière générale il convient de rappeler que l'aléa relatif aux cavités présente certaines spécificités qui découlent notamment de son caractère :

- ponctuel, puisqu'il affecte des zones limitées (au plus quelques dizaines d'hectares) ;
- définitif, puisqu'à l'emplacement où il s'est développé, il ne peut plus se reproduire, du moins avec la même intensité (possibilité d'affaïssement résiduel) ;
- maîtrisable, l'origine de l'aléa peut être, sous certaines conditions, identifiée, circonscrite et supprimée.

Précisions des études d'aléa

Lorsque les exploitations sont accessibles et de petites dimensions, une analyse de détail appuyée sur une reconnaissance systématique des vides peut être envisagée. Dès lors que les emprises concernées excèdent plusieurs dizaines d'hectares ou en présence de secteurs inaccessibles et/ou dépourvus de plans d'exploitation, cette démarche devient inenvisageable.

La globalisation de l'analyse permet en revanche d'uniformiser l'ensemble des cavités en plusieurs types de configurations (Didier et al, 1999). Cette approche plus simple et rapide s'avère pertinente en cas d'exploitations assez bien connues et dans des environnements homogènes. L'intérêt 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.

Prise en compte des phénomènes associés

Dans le cadre de l'analyse de l'aléa, il convient de ne pas négliger les phénomènes associés qui peuvent résulter d'effondrements de cavités. Ainsi, les phénomènes de glissement ou d'écroulement de fronts rocheux, en bordure des coteaux ou à proximité des entrées en

cavage devront être considérés avec la plus grande attention.

Ceci peut parfois amener à étendre le zonage de l'aléa (et donc à proposer un zonage réglementaire) dans des secteurs en aval ou en amont, non directement concernés par les cavités.

Prise en compte des travaux

Il est d'usage, dans la démarche d'élaboration des PPRN, de ne pas prendre en compte la présence de travaux de confortement ou de protection dans la phase d'évaluation des aléas. Ce parti pris consiste à intégrer la possible perte d'efficacité dans le temps de telles mesures, surtout en cas de non-entretien. C'est particulièrement le cas pour les risques d'inondation (risque de rupture des digues hydrauliques non entretenues) ou de chutes de blocs (absence de curage des pièges à cailloux).

Sur ce point également, l'aléa effondrement de cavités présente des spécificités qui méritent d'être prises en compte. Certains traitements du risque, lorsqu'ils sont convenablement réalisés, se révèlent en effet définitifs et n'exigent pas d'entretien spécifique pour garantir leur efficacité dans le temps.

C'est notamment le cas des remblayages totaux, réalisés à l'aide de coulis avec prise ou confinés par des barrages convenablement dimensionnés. Dans ce cas, le comblement des vides contribue à stabiliser durablement les terrains et l'affichage d'un aléa de type effondrement à leur aplomb n'aurait pas de sens physique.

Il conviendra d'être beaucoup plus précautionneux dès lors que les travaux mis en œuvre sont destinés à conforter les ouvrages souterrains et non à les combler. Dans ce cas, la qualité de réalisation et le dimensionnement des mesures, ainsi que bien évidemment de la pérennité des techniques employées devront être minutieusement considérés.

Par exemple, du fait de l'absence de retour d'expérience sur la tenue des soutènements, il semble raisonnable de faire abstraction, pour



Pilier maçonné dégradé (INERIS)

une durée centennale, des techniques de confortement par béton projeté ou boulonnage.

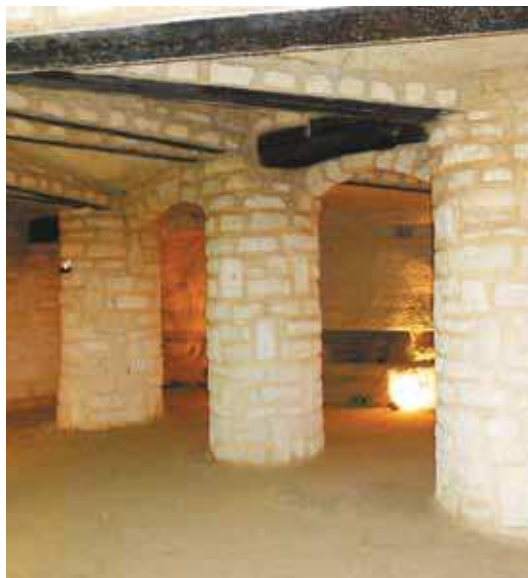
Pour ce qui concerne les piliers maçonnés érigés au sein des cavités, la nature des matériaux de construction, l'emplacement, la densité, la taille et la forme des appuis joueront un rôle prépondérant dans la prise en compte, ou non, de leur comportement dans le temps. À ce titre, les piliers peu massifs et très élancés ne peuvent être considérés comme satisfaisants à long terme. À l'inverse, l'existence de piliers massifs (longueur et largeur supérieures à la hauteur) et constitués d'éléments résistants peut être susceptible de s'affaïsser progressivement dans le temps mais, en aucun cas, de disparaître par défaut d'entretien.

On privilégiera donc l'avis d'expert, en s'appuyant si besoin sur des investigations de contrôle, pour définir le bien fondé de prendre en compte certains types de travaux et de ne pas en retenir d'autres. L'expert devra décrire précisément les critères qu'il a retenus pour faire ses choix de manière à assurer une transparence de la démarche retenue.

Dans tous les cas, la prise en compte de travaux de traitement du risque ne pourra être effective que lorsque les deux conditions suivantes sont vérifiées :

- les techniques de traitement mises en œuvre permettent de garantir une stabilisation pérenne des cavités. En l'absence de reconnaissances visuelles possibles, l'expert devra s'appuyer sur des documents récents et fiables décrivant la conception, la réalisation et le contrôle approprié des travaux ;
- les emprises concernées doivent être suffisamment étendues pour permettre une visualisation à l'échelle du document et une transposition possible aux documents d'urbanisme (éviter le pointillisme).

Dans tous les cas, les contours des cavités jugées convenablement traitées feront l'objet d'un figuré spécifique sur la carte d'aléas. Il convient en effet de préserver la mémoire en informant notamment 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.



Confortements massifs d'une cavité

Activités souterraines existantes

Il n'est pas possible de garantir la pérennité des possibles activités qui se développent en milieu souterrain (établissement recevant du public, champignonnières...) au moment de l'analyse. Dans la mesure où la stabilité de l'édifice dépend, pour tout ou partie de cette activité (surveillance, entretien, travaux de confortement), on ne peut prendre en compte cette contribution dans l'évaluation de l'aléa.

L'expert mènera donc son analyse de la même manière que si la cavité était abandonnée.

Éléments cartographiques complémentaires

L'utilisation de figurés spécifiques peut compléter la cartographie en apportant des informations essentielles à une bonne compréhension des phénomènes et mécanismes attendus et préparer au mieux la phase de zonage réglementaire. Pour ne pas surcharger les cartes à l'excès, on veillera toutefois à limiter ce type d'apports au strict nécessaire. À titre d'exemple, on peut citer :

- le contour des zones de vides supposés (utilisation de contours tiretés comparativement au trait plein pour les vides connus par exemple) ;
- les zones de cavités ayant fait l'objet de travaux de traitement du risque suffisamment pérennes et étendus pour être intégrés dans l'analyse de l'aléa (un motif de quadrillage est fréquemment utilisé) ;
- on peut également différencier, en tant que de besoin, des zones soumises à un même niveau d'aléa (effondrement localisé de niveau moyen par exemple) mais dont l'origine en termes de mécanismes peut varier (rupture isolée de piliers ou remontée de cheminée suite à une instabilité de toit par exemple). Là aussi, l'utilisation de motifs différents peut être privilégiée lorsque la nature du mécanisme peut induire la définition de zones réglementaires différentes.

Appréciation des enjeux

On désigne par **enjeux** d'un territoire, les personnes, biens et 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 (établissement de gestion de crise) ou d'aggraver (réseaux de gaz) les conséquences d'un événement.

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 constructions 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 et se traduit par le niveau des conséquences prévisibles susceptible d'impacter cet enjeu (dommages directs ou indirects).

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.

À ce titre, certaines villes construites et étendues sur d'anciennes cavités souterraines présentent un patrimoine architectural remarquable, lié parfois justement 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.

La démarche d'appréciation des enjeux peut conduire, dans certains contextes particulièrement défavorables, à identifier des secteurs particulièrement exposés et dangereux où des mesures d'expropriation, au titre de l'article L. 561-1 du Code de l'environnement peuvent être envisagées. Rappelons néanmoins qu'il s'agit d'une procédure n'entrant pas dans le cadre des PPRN.

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, etc.

Elle est menée en concertation avec l'ensemble des acteurs, et plus particulièrement par l'association de la collectivité territoriale en charge des documents d'urbanisme. 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 une éventuelle gestion de crise. Il ne lui appartient cependant pas de l'organiser en se substituant aux outils et structures existants dans ce domaine.

Les enjeux désignent les différents éléments de l'occupation de l'espace d'ordres humains, socioéconomiques, 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, 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.

Enjeux existants

■ Espaces urbanisés

Les espaces urbanisés sont définis par référence au Code de l'urbanisme qui précise que le caractère urbanisé s'apprécie en fonction de la réalité physique.

Parmi ceux-ci, 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.



Exemple du centre urbain de Laon avec un fort patrimoine historique (INERIS)

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

■ 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 (voies ferrées, 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 (écoles, salles des fêtes, 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.

■ 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 si elles sont exposées à des aléas moyens à forts.



Exemple de friche (ancienne partie d'exploitation à ciel ouvert) en milieu périurbain

Lorsqu'elles sont incluses dans les secteurs urbanisés et stratégiques dans la perspective d'une revalorisation urbaine, des aménagements peuvent être toutefois envisageables. De tels secteurs peuvent, dès lors, constituer des enjeux forts pour la collectivité et doivent faire l'objet d'une délimitation précise.

■ Autres types d'enjeux et d'activités

Parmi les autres enjeux à identifier sur un site soumis à un aléa effondrement de cavités, il convient de prendre en compte les zones non urbanisées (parcs, espaces verts, campings, terrains d'accueil, terrains de sports...) qui pour-

raient 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, il peut arriver que certaines cavités soient, pour toute ou partie, occupées par des activités industrielles ou commerciales (champignonnières, musées, restaurants, stockages, etc.) et constituent elles-mêmes des enjeux. 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 est important qu'ils apparaissent également dans l'analyse des enjeux.

Projets futurs

Il convient, dans une seconde phase, d'identifier, de manière aussi exhaustive que possible, les projets d'aménagement 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, pour connaître les perspectives de développement envisagées, au moins dans le futur proche (quelques années).

Espaces non exposés

Une attention particulière sera accordée aux 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, voire bloquer, les paramètres à l'origine d'un facteur aggravant comme le ruissellement d'eau vers des secteurs de cavités à faible profondeur.

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 d'occupation des sols qui s'attache à localiser les principaux enjeux.

Même si, les phénomènes redoutés en surface sont de faible extension et que les mesures de prévention concernent essentiellement le traitement de l'aléa, l'étude des enjeux présente toute son utilité dans l'élaboration de PPRN cavité.

Ainsi, 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). Il est alors possible d'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 des phénomènes redoutés (affaissement, petits fontis) peuvent être maîtrisés par des mesures constructives simples.

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

- 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 ;
- 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 ;
- il est primordial que l'analyse des enjeux identifie la présence de réseaux susceptibles de favoriser des fuites ou des rejets non contrôlés ;
- il importe enfin de repérer les activités et équipements 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 brancardement, vibrations liées au trafic routier).

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 d'en faciliter la superposition.

L'utilisation d'un fond ortho-photo ou plan facilite la visualisation des enjeux et souvent favorise la concertation avec les élus et les populations exposées.

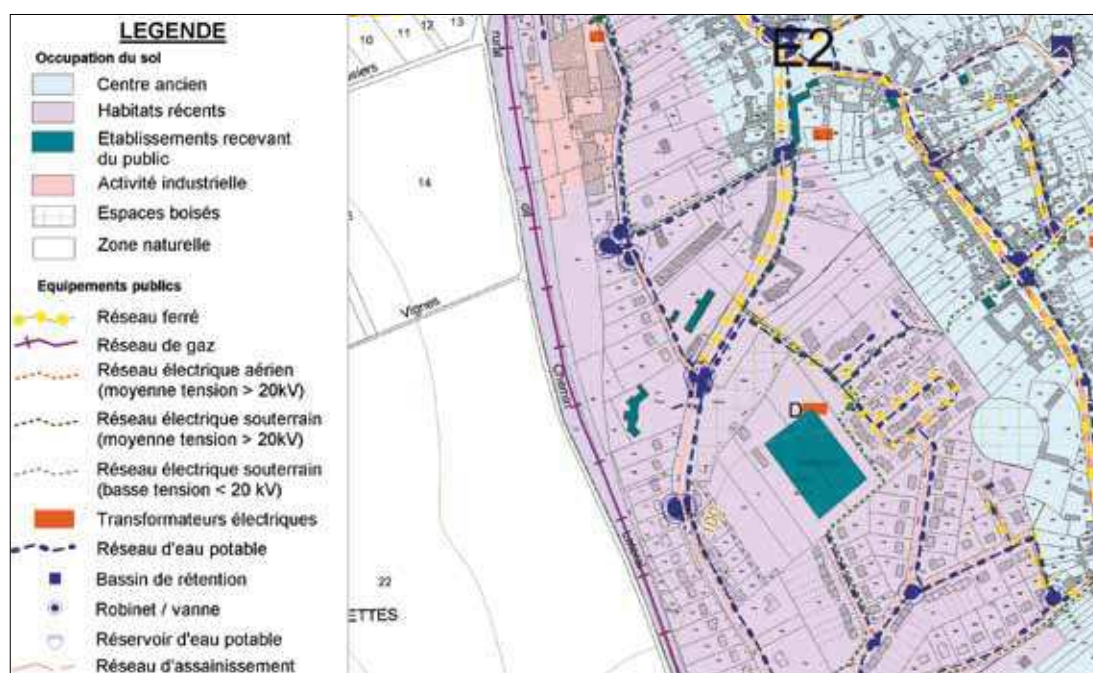
Cette carte peut être complétée, si nécessaire, par des fiches descriptives sommaires. Les circonstances locales pourront également conduire

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.

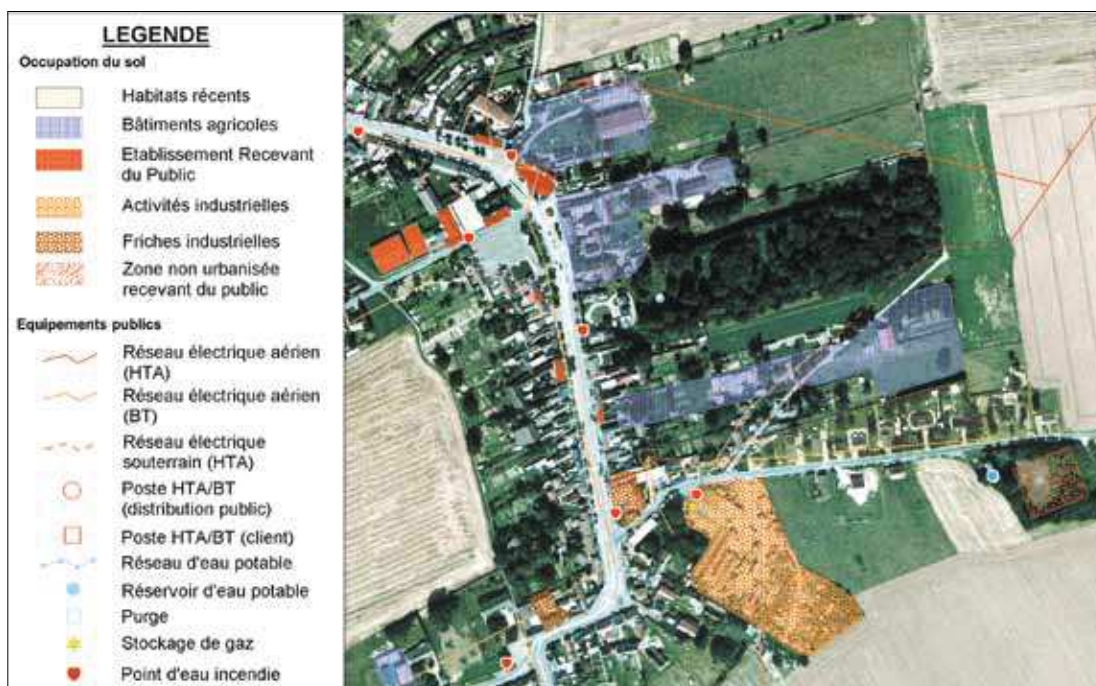
Le report cartographique se fera sous forme ponctuelle (localisation d'un équipement sensible etc.), linéaire (axe de communication facilitant l'intervention des secours etc.) ou zonale (zones économiques à protéger, etc.). Les différentes natures d'enjeux sont désormais codifiées par le géostandard Covadis PPR.

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.

Ces documents cartographiques constituent 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.



Exemple de carte d'enjeux sur un fond cadastral



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

Zonage réglementaire

Le zonage réglementaire délimite les zones homogènes dans lesquelles sont applicables des interdictions et des prescriptions. Les principes de ce zonage s'appuient 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 secteurs homogènes se traduit par l'élaboration de la cartographie du zonage réglementaire du PPRN. Elle se situe, de fait, au cœur de la concertation entre les différents acteurs de la prévention des risques (services de l'État, collectivités, associations, etc.).

Il est vivement conseillé que cette étape se fasse avec l'assistance technique de l'expert chargé de la qualification des aléas.

Démarche de zonage

Le zonage réglementaire doit être adapté aux situations locales, résulter d'une démarche rigoureuse, être lisible et compréhensible par tous. 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 PPRN a pour objet, en tant que de besoin, de délimiter les zones exposées aux risques, en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, et celles 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.

Généralement, on distingue, pour les zones directement exposées, trois grandes catégories :

- les zones définies comme des zones d'aléa fort ou très fort au sein desquelles les mesures d'urbanisme interdisent toutes nouvelles constructions (zones inconstructibles), du fait principalement de la gravité prévisible des phé-

nomènes redoutés et de la difficulté de traiter le risque (volume et profondeur des vides). Les travaux, nécessaires au fonctionnement des missions de service public et des travaux permettant de réduire la vulnérabilité, peuvent toutefois être autorisés dans ces zones ;

- les zones d'aléa moyen sont généralement définies comme inconstructibles en l'absence d'enjeux avérés, en particulier dans le cas des zones non urbanisées. Des zones urbanisées pourront être jugées non constructibles lorsque l'intensité des phénomènes n'est pas compatible avec le type d'occupation du sol ou que la réduction de l'aléa n'est pas envisageable ou s'avère trop onéreuse pour des particuliers. À l'inverse, toujours dans ces zones urbanisées, lorsque des mesures de protection sont envisageables à des coûts raisonnables (petits fontis, cavités connues de petits volumes et facilement accessibles...) les projets peuvent être envisagés moyennant le respect de prescriptions ;

- les zones de niveau d'aléa faible où les implantations nouvelles sont généralement soumises à des prescriptions.

Zonage réglementaire : principes généraux basés sur les projets

Aléa	Espaces non urbanisés	Espaces urbanisés	
Fort et très fort	Constructions interdites	Constructions interdites	
Moyen	Constructions interdites	Constructions interdites si mesures difficiles à mettre en œuvre	Prescriptions si mesures adaptées possibles
Faible	Prescription de mesures adaptées si nécessaire		

Ainsi, dans le cadre des risques liés aux cavités souterraines, l'identification de zones homogènes en termes d'urbanisme et de dispositions constructives reste donc très liée aux niveaux d'aléas de référence définis dans le cadre de l'étude et aux incertitudes sur les contours des vides.

Elle dépend également de la possibilité de mettre en œuvre des mesures efficaces présentant des coûts raisonnables pour la protection des personnes et des biens.

Dans les zones de forts enjeux, en particulier dans les centres urbains ou périurbains, l'élaboration du zonage cherchera à éviter une dévalorisation du site en surface en privilégiant des aménagements adaptés aux phénomènes (forte valeur des biens permettant le traitement des petites cavités).

À l'inverse, lorsqu'il existe des alternatives d'urbanisation possibles hors zone à risque, la volonté de développement à l'échelle communale ou intercommunale doit privilégier à opter pour un gel des constructions, même dans les espaces urbanisés.

Éléments pratiques de cartographie

Le choix de l'échelle pertinente, au-delà du 1/25 000 agrandi au 1/10 000 habituellement recommandé, dépend du niveau de précision de l'évaluation de l'aléa et des enjeux concernés. La réalisation des contours, notamment dans les secteurs urbanisés, doit donc présenter une qualité convenable en termes d'épaisseur des traits et rester corrélable avec l'échelle du document (1 mm représente 10 m, la largeur d'une maison, sur un plan au 1/10 000).

Il convient également de rappeler que si la carte de zonage réglementaire doit permettre la localisation des biens concernés par le règlement, il n'appartient pas à l'État d'établir le support du document d'urbanisme à l'échelle du cadastre. Cette tâche est de la responsabilité de la collectivité en charge de l'urbanisme. Les limites des zones réglementaires s'appuyant

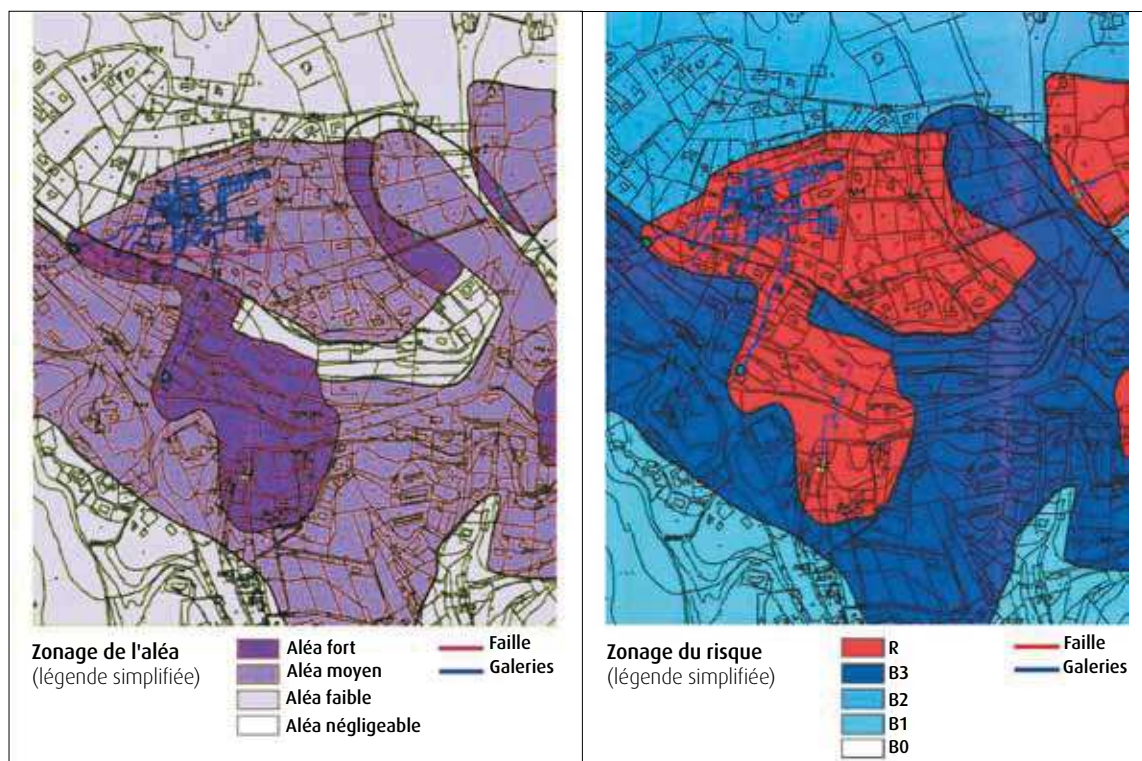
en premier lieu sur l'analyse de l'aléa, le découpage parcellaire ne pourra être pris en compte lors de la transcription du fond topographique.

La transcription dans un document d'urbanisme peut être délicate, par exemple lorsqu'une même parcelle est divisée entre une zone non constructible et une zone où les constructions restent possibles (même si soumises à prescriptions). Il est de la responsabilité de la collectivité de décider du classement de la parcelle dans son document d'urbanisme.

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).

L'utilisation de SIG permet des restitutions précises et facilement reproductibles en termes de contours et de couleurs. Par convention, la couleur rouge a souvent été adoptée pour les zones inconstructibles et la couleur bleue pour les zones nécessitant le respect de prescriptions. Les couleurs sont désormais codifiées par le géostandard Covadis PPR. Si, au sein de ces deux catégories, il est besoin d'individualiser des zones homogènes en termes de prescriptions, soit parce qu'elles sont exposées à d'autres risques, soit parce que les mesures adaptées sont différentes ou incompatibles, il est possible de décliner 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, le nombre de ces zones réglementées.

Enfin, une trame 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 cavités car les facteurs susceptibles d'aggraver l'aléa se situent principalement dans l'emprise connue ou supposée des vides.



Exemple d'élaboration de zonage réglementaire sur la base d'une carte d'alea : On notera que les zones réglementaires ne sont pas identiques aux zones d'alea

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.

Règlement

Principes généraux

Objectifs

Directement relié au zonage réglementaire, le règlement du PPRN a pour objet d'énoncer, de manière claire et opérationnelle, les mesures s'appliquant à chacune des zones délimitées précédemment. Comme pour le zonage, il est conseillé d'associer à sa réalisation le bureau d'étude ayant procédé à la qualification des aléas.

Les dispositions réglementaires ont pour objectifs d'améliorer la sécurité des personnes et de limiter la vulnérabilité des biens et des activités dans les zones exposées. Ces mesures doivent :

- différencier sans ambiguïté les périmètres réglementés et identifier les diverses interdictions et prescriptions applicables ;
- être compréhensibles par tous, citoyens, 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.

Contenu

Les conditions de réalisation des projets se traduisent par des règles d'urbanisme et des règles de construction adaptées aux spécificités de l'aléa.

■ Règles d'urbanisme

Les règles d'urbanisme encadrent les interdictions et prescriptions applicables aux formes d'aménagement et d'utilisation du sol et sont contrôlables par le service chargé des droits du sol. Elles concernent principalement l'implantation et le volume des constructions projetées.

Le Code de l'urbanisme prévoit également dans son article R. 431-16 que :

« Le dossier joint à la demande de permis de construire comprend en outre, selon les cas : de permis de construire comprend :

...

c) lorsque la construction projetée est subordonnée par un plan de prévention des risques naturels prévisibles approuvé, ou rendu immédiatement opposable en application de l'article L. 562-2 du code de l'environnement, ou par un plan de prévention des risques technologiques approuvé, à la réalisation d'une étude préalable permettant d'en déterminer les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation, une attestation établie par l'architecte du projet ou par un expert agréé certifiant la réalisation de cette étude et constatant que le projet prend en compte ces conditions au stade de la conception ».

Pour les secteurs supposés sous-cavés, le PPRN pourra prescrire aux propriétaires des investigations destinées à vérifier ou infirmer la présence de cavités à l'origine des risques et permettant d'identifier, le cas échéant, les travaux nécessaires pour réduire l'aléa ou pour adapter la construction. Certaines méthodes ne peuvent fournir que des résultats imparfaits et il est difficile de figer, dans le cadre d'un règlement, la nature précise des techniques d'investigation utilisables.

Il est donc préférable de prescrire des mesures simples et efficaces. Celles-ci peuvent par exemple porter sur la gamme de profondeur des reconnaissances requises afin que le maître d'ouvrage ne mette pas en œuvre des démarches inappropriées (par exemple, un sondage à 3 mètres pour rechercher des galeries isolées dans une formation rocheuse située à une dizaine de mètres de profondeur).

■ Règles de construction

Les règles de construction relèvent pour leur part de la responsabilité du maître d'ouvrage, du propriétaire ou de l'utilisateur du site. Elles peuvent porter sur :

- le traitement de tout ou partie de la cavité à l'origine de l'aléa ;
- 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 (voir encadré) dépend moins du niveau d'aléa affiché que de la configuration des vides à l'origine du risque et de la nature des projets. Le règlement doit s'attacher à guider le maître d'ouvrage dans sa démarche de mise en sécurité, sans pour autant exiger une technique particulière de traitement des vides.

Il convient en outre d'éviter que des dispositions constructives, trop détaillées ou établies pour un aléa donné, ne soient pas compatibles avec les contraintes d'urbanisme ou avec des prescriptions définies pour d'autres aléas (par exemple, prescription de fondations incompatibles avec un phénomène de tassement gonflement du sol) ou avec une réglementation environnementale (présence de chiroptères).

Structure

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.

La structure du règlement n'est toutefois pas figée et, selon les contraintes techniques induites par le risque pris en compte ou les résultats des phases de concertation avec les collectivités, il est possible de modifier le plan pour tenir compte du contexte local et notam-

ment 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.

Le présent document n'a pas pour ambition de détailler la manière d'élaborer un règlement standard. Pour les détails, il faudra se reporter aux différents guides publiés par le ministère notamment au *Cahier de recommandations sur le contenu des PPRN*⁴. En revanche, le parti a été pris de présenter, ci-après, quelques spécificités relatives au risque effondrement de cavités souterraines pour proposer des prescriptions simples et adaptées, en adéquation avec l'esprit du PPRN. **Ces mesures apparaissent en italiques dans la suite du texte.**

Dispositions générales du règlement

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.

Le règlement du PPRN doit bien indiquer que la procédure peut être révisée ou modifiée 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 évolution significative du

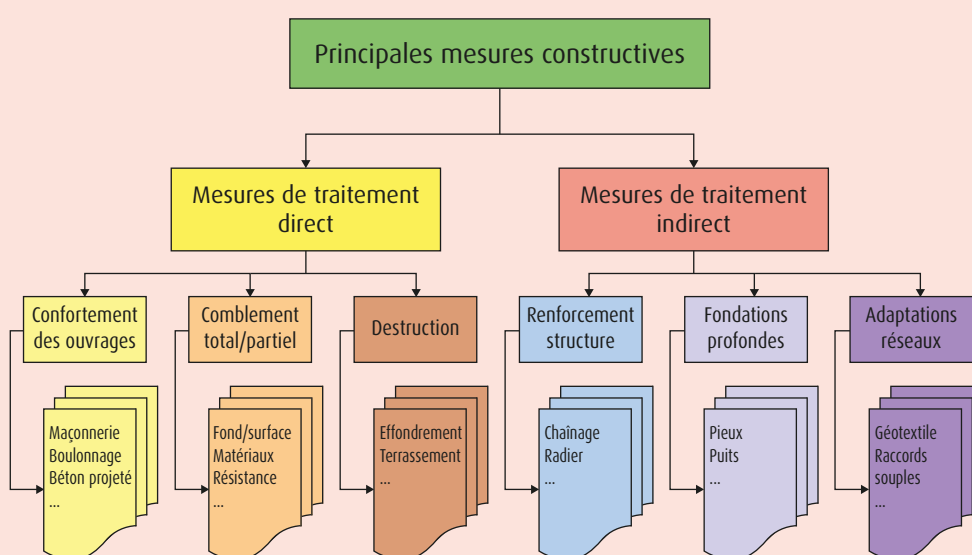
4 Cahier de recommandations sur le contenu des PPRN – Document édité par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable – téléchargeable sur le site www.prim.net

MESURES DE TRAITEMENT DU RISQUE LIÉ AUX CAVITÉS

En fonction de la configuration des travaux souterrains et du type d'enjeux projetés en surface, il est possible de faire appel à différentes techniques constructives

directement aux phénomènes et dont l'objectif est de limiter l'impact de possibles mouvements de sol sur les enjeux. Ces méthodes, qui ne présentent pas toujours des conditions

Distinction des mesures constructives directes et indirectes



s'appliquant directement à l'origine de l'aléa ou indirectement à la structure à protéger.

Les mesures de traitement direct des cavités font appel à des techniques de confortement ou de comblement selon que la destination finale des vides soit la conservation (volonté de réaménagement des cavités) ou la suppression dans le but d'un aménagement pérenne des terrains en surface. Elles s'appliquent lorsque les cavités sont bien reconnues, que les conditions techniques le permettent (volume, profondeur, accès...) et qu'un choix économique les justifie.

Les mesures de traitement indirect sont des dispositions techniques qui ne s'opposent pas

d'applicabilité aisées en terme de réalisation et de coût de travaux, notamment pour l'existant et pour des projets limités (pavillons), 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. Contrairement à la plupart des autres risques naturels, ces parades passives ne s'appliquent qu'au droit (ou à proximité immédiate) des enjeux sous-cavés en réduisant les conséquences de phénomènes.

zonage réglementaire pour entreprendre une modification ou une révision 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 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 notamment 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, quelques mesures générales sur les modalités de réalisation des études peuvent être prescrites.

Exemple

Les études sont menées avec les moyens appropriés par des professionnels possédant des qualifications spécifiques dans la maîtrise des techniques permettant d'appréhender le comportement des sols et massifs rocheux, et en cas de nécessité d'intervention, ayant la connaissance approfondie des procédés de confortement dans le domaine du génie civil.

Exemple

Les études géotechniques devront être menées dans le cadre de la norme NFP 94-500, définissant clairement les types de diagnostics, d'études de projets et de suivi des travaux de mise en sécurité.

Dispositions applicables aux nouveaux projets

Les dispositions applicables aux nouveaux projets 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.

Zones d'interdiction de construire

Les mesures d'interdiction de construire concernent les zones comportant, le plus souvent, des ouvrages souterrains avec des volumes importants, des profondeurs élevées, ou présentant des terrains de recouvrement peu cohérents par exemple et ne pouvant pas être traités à des coûts raisonnables.

Pour éviter de bloquer toute activité dans ces zones, il est toutefois possible de pondérer les mesures d'interdiction en rendant possible le développement et l'utilisation, sous conditions de contrôle et d'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. Dans cet esprit, les travaux d'entretien et d'amélioration du bâti existant peuvent être autorisés.

Les travaux de comblement ou de confortement des cavités peuvent également être autorisés dans ces zones. À terme, les traitements des cavités, réalisés dans les règles de l'art, permettent d'envisager une adaptation du zonage réglementaire par modification ou révision du PPRN.

Zones soumises à prescriptions

Dans les secteurs où les **projets sont soumis à prescriptions**, les dispositions définissent les conditions d'aménagement ou de construction, par exemple par la réalisation d'une étude ayant pour objectifs la reconnaissance et l'évaluation

de l'état des vides et propositions de mesures de prévention adaptées.

Exemple

Il est prescrit une étude appropriée du terrain destiné à recevoir le projet d'aménagement afin de répertorier la présence éventuelle de cavités souterraines et de garantir la viabilité du projet. La reconnaissance a pour objectif 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... mètres) et resserrée pour s'assurer de l'absence d'anciennes cavités isolées de... mètres de diamètre et...mètres de hauteur situées au sein de la formation géologique concernée.



Exemple de chantier de reconnaissance (INERIS)

Dans le cas où les cavités et les aléas s'y rapportant sont identifiés (profondeur, volume, état géotechnique...), la mise en œuvre de dispositions constructives doit aboutir à réduire significativement, voire supprimer, le risque dans les secteurs exposés :

– soit par des prescriptions de traitement direct de l'aléa : comblement, confortement...

Exemple

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

Exemple

Il est prescrit de remblayer les vides situés à l'aplomb des parties vulnérables des projets, ainsi que ceux situés dans une bande dite de sécurité, d'une largeur forfaitaire de [...] mètres en périphérie des biens.

– soit par des techniques destinées à limiter l'impact sur les projets (géotextiles, fondations profondes).

Exemple

Les constructions, installations et occupations du sol nouvelles, sont soumises au 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.



Exemple de pieux traversant une carrière (INERIS)

Les modalités de mise en œuvre des dispositions constructives peuvent également être précisées dans le règlement pour que les travaux réalisés présentent un niveau d'efficacité satisfaisant et qu'ils évitent une dégradation de l'environnement immédiat du site.

Exemple

Il est prescrit 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



Comblement avec les matériaux sableux laissant circuler l'eau (INERIS)

Une bonne gestion des eaux (quelles soient issues de l'infiltration des précipitations naturelles ou en rapport avec des réseaux anthropiques) permet en outre de réduire sensiblement les critères de prédisposition d'un site sous-cavé à évoluer vers la ruine. De fait, des mesures de gestion des réseaux particuliers doivent être prescrites.

Le raccordement éventuel des eaux pluviales au réseau collectif doit être bien justifié (carrières de gypse, cavités très proches de la surface....) et nécessite l'accord préalable du gestionnaire du réseau. Cette démarche doit être évaluée en phase de concertation.

Exemple

Il est prescrit le raccordement des eaux pluviales ou usées et des dispositifs de drainage au réseau collectif lorsqu'il existe et avec l'accord préalable du gestionnaire du réseau.

Exemple

En cas d'assainissement non collectif, les différents rejets devront être faits à l'aval du bâtiment à une distance d'éloignement si possible de [...] mètres⁵ par rapport aux cavités identifiées ou répertoriées et de toute habitation⁶ la plus proche.

Cas particulier des projets sur les biens existants

Dans les 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 secteurs **constructibles moyennant le respect de prescriptions**, les dispositions sur les projets nouveaux s'appliquent aussi aux extensions soumises à autorisation ou à déclaration. Dans ce dernier cas, le choix de règles de construction doit être en rapport avec des types d'extensions (éviter les prescriptions disproportionnées à la nature du projet – abri de jardin par exemple).

Dans les zones définies comme **non constructibles**, les mesures d'urbanisme doivent 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 (habitation devenant ERP, corps de ferme devenant gîte rural, etc.).

Les extensions mesurées de bâtiments existants peuvent être admises sous réserve par exemple qu'ils ne dépassent pas une surface forfaitaire au sol, en particulier dans les secteurs déjà urbanisés à forte pression foncière.

⁵ La distance minimum est de 5 m pour les eaux usées (DTU 64.1) mais il est préférable d'augmenter cette distance le plus possible. Ces points doivent être examinés avec l'autorité responsable de l'assainissement.

⁶ ou de tout autre immeuble habituellement occupé par des tiers.

Exemple

Les extensions seront limitées à... m² de SHOB. Elles auront un caractère unique en se basant sur la date d'approbation du PPRN.

Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde

Les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde ont pour objectif principal de limiter la vulnérabilité des biens et des personnes par des reconnaissances, de la surveillance, des traitements des cavités et/ou la mise en place de parades passives vis-à-vis du développement des phénomènes redoutés.

Contrairement à la réglementation sur les projets ou aux mesures sur l'existant, elles ne sont pas directement liées à un enjeu 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 précisera clairement les mesures qui relèvent de la responsabilité des collectivités publiques, dans le cadre de leurs compétences, celles qui incombent aux gestionnaires de réseaux (eau, électricité, transports, etc.) et celles qui s'appliqueront aux particuliers quels qu'ils soient.

Les études et travaux dont la maîtrise d'ouvrage est assurée par la collectivité peuvent être financés partiellement par le fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM).

La réalisation des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde peut être rendue obligatoire en fonction de la nature et de l'intensité du risque dans un délai de cinq ans, pouvant être réduit en cas d'urgence (art. L 562-1 du Code de l'environnement).

Mesures de prévention

Les mesures de prévention, en matière de risques dus aux instabilités de cavités, 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 à la ruine de cavités connues ou supposées ;
- 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 des cavités à l'échelle d'un quartier ou d'un territoire peut être prescrite à la collectivité. Au préalable, celle-ci devra obtenir l'accord des propriétaires du tréfonds. Le suivi périodique des zones de stabilité douteuse, ou la mise sous surveillance de sites ou d'ouvrages de confortement peuvent également être prescrits aux propriétaires du tréfonds. 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). Lorsque des cavités sous-minent plusieurs propriétés privées voisines, la collectivité peut être incitée à mettre en place une démarche de concertation entre les différents propriétaires concernés de manière à optimiser les visites et réduire le coût des interventions.

Exemple

Il est prescrit au propriétaire du tréfonds l'inspection périodique des cavités tous les [...] ans par un professionnel compétent afin de vérifier l'état de la stabilité des cavités et de définir les mesures de prévention à mettre en œuvre en cas d'évolution défavorable de la stabilité.

Les mesures de télésurveillance instrumentale présentent l'avantage de compléter le suivi visuel grâce à des mesures continues.



Exemples de reconnaissances géotechniques (INERIS)

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. Cependant, ces techniques supposent de prévoir un coût de fonctionnement (télégestion des données, entretien, visites, remplacement...) qui peut se poursuivre sur plusieurs années.

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.

■ Gestion des facteurs aggravants et entretien des réseaux

En présence de cavités, des mesures relatives au bon fonctionnement des réseaux d'eau apparaissent extrêmement importantes compte

tenu du rôle prépondérant de l'eau (fuite, rejet non contrôlé...) comme facteur d'aggravation du risque.

Exemple

L'étanchéité des réseaux d'adduction d'eau et d'évacuation des eaux usées est vérifiée par le gestionnaire de réseaux tous les [...] ans. Le gestionnaire fournit à la collectivité un certificat d'étanchéité des réseaux et de conformité des branchements. En cas de dégradation constatée, le gestionnaire du réseau effectue la remise en état. Le gestionnaire établit également un programme d'entretien de son réseau.

Les gestionnaires de réseaux doivent ainsi prendre des dispositions afin que les mouvements de terrain ne soient pas de nature à endommager leurs réseaux.

■ 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 de cavités présentant des entrées en cavage.

Exemple

L'entretien des crêtes de falaises situées au-dessus des cavités est effectué par la collectivité sur le domaine public ou par les propriétaires sur domaine privé. Seule la végétation à système racinaire traçant⁷ est maintenue.

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.

⁷ qui s'étale sous la surface à l'opposé de pivotant qui pénètre profondément dans le sol.

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

Exemple

Dans les zones exposées, 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.

Mesures de protection

Les mesures de protection proprement dites font référence aux solutions pouvant être recherchées pour réduire la vulnérabilité d'un bien ou éviter un accident grave affectant les personnes.

Dans le cas particulier de l'aléa effondrement de cavités, il s'agit des mêmes méthodes de réduction de l'aléa que celles définies dans le cadre des dispositions constructives pour les projets mais qui sont appliquées, dans ce cas le plus souvent sous maîtrise d'ouvrage de la collectivité, à une carrière entière ou à un ensemble de cavités. Leur prescription à une collectivité dépend du niveau de connaissance et de l'état des cavités, de la vulnérabilité et de la propriété des enjeux à protéger (quartier d'habitation, axe routier sensible, équipement public, parc piéton...).

Dans certains cas, la réalisation de ces travaux de sécurisation permettra d'envisager une adaptation du zonage réglementaire. Le service instructeur peut alors écrire dans le PPRN

les possibilités d'adaptations afin d'inciter les collectivités à se lancer dans des démarches globales de réduction de la vulnérabilité de leur territoire. Cependant, la modification du zonage réglementaire devra passer par une procédure de révision du PPRN, qui ne pourra être effective qu'une fois les travaux réalisés. En effet, dans la plupart des cas l'ampleur de la zone concernée par les travaux et leurs conséquences potentielles nécessitent une concertation plus approfondie avec les parties prenantes que ne le prévoit la procédure de modification des PPRN.

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 de sinistres.

Elles peuvent servir dans l'élaboration du plan communal de sauvegarde (PCS), obligatoire pour les communes possédant un PPRN approuvé, et pour rappeler l'obligation des populations exposées à déclarer les nouveaux phénomènes.

Exemple

Tout indice ou 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.

La condamnation des accès peut nécessiter l'aménagement pour la faune.

Exemple

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 empêcher l'accès non sécurisé du public. Ils devront toutefois rester accessibles par des ouvertures amovibles pour permettre des interventions par les services spécialisés.



Aménagement d'un passage pour les chiroptères

Les mesures relatives à l'élaboration de plans de secours restent 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.

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 être rendues obligatoires dans un délai maximum de 5 ans 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.

En outre, les prescriptions définies par le règlement peuvent être subventionnées par le 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, les prescriptions peuvent concerner :

- **le traitement de la cavité à l'origine du risque.** Des prescriptions de travaux sont surtout envisageables lorsque les cavités sont parfaitement reconnues, plutôt accessibles et de petites dimensions. Le traitement (par exemple des piliers de confortement ou des comblements sectorisés) peut être évalué (coût moyen, nature, période de travaux, niveau de sécurisation, etc.) par rapport à la catégorie et la valeur du bien exposé. Par contre, ces prescriptions de travaux ne sont pas appropriées lorsque les cavités s'étendent largement sous la parcelle ou les propriétés voisines ou encore, lorsque la configuration et l'extension des vides sont mal connues ;
- plus indirectement, sur **la réduction des mécanismes de dégradation** susceptibles d'impacter les biens existants sous-cavés. Dans ce cas, rappelons que les prescriptions les plus efficaces concernent la maîtrise des eaux dans le sous-sol. En complément des mesures de prévention mises en œuvre à l'échelle de la collectivité, des mesures peuvent être prescrites aux particuliers.

Exemple

Le raccordement aux réseaux publics (assainissement, adduction d'eau potable...), lorsqu'ils existent, est rendu obligatoire dans un délai de [...] ans pour les propriétés bâties non encore raccordées aux réseaux à la date d'approbation du plan de prévention des risques⁸.

Exemple

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 [...] m par

⁸ La durée maximale d'application pour ces travaux est de deux ans

rapport aux cavités connues et/ou une marge de [...] m ($Y < X$) par rapport à toute habitation. Les fosses et évacuations non conformes doivent être remblayées ou enlevées.

Exemple

Les rejets des eaux usées et des eaux pluviales dans des fractures ouvertes du massif rocheux naturel ou les excavations souterraines doivent être supprimés par raccordement aux réseaux publics s'ils existent.

Lorsque les cavités sont utilisées de manière régulière, notamment à des fins industrielles,

commerciales ou autres (caves, ERP, habitats troglodytiques, etc.), des dispositions particulières peuvent aussi être prescrites. L'application de ces prescriptions relève, bien entendu, de la responsabilité de l'exploitant (article 1364 du Code civil), qu'il soit propriétaire de la surface ou non.

Exemple

Que l'occupation des cavités soit temporaire ou permanente, il est prescrit aux propriétaires des cavités des études destinées à vérifier l'état de stabilité des cavités et de leur environnement immédiat.

Note de présentation

La note de présentation 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.

Contenu de la note

Il est important de rappeler que l'ensemble des points suivants devront être obligatoirement traités.

■ 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 (survenue d'un sinistre 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.

■ 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 d'exploitation, susceptibles d'engendrer les aléas. 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.

■ 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 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.

■ 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.

■ Qualification des enjeux

L'analyse des enjeux 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).

■ Zonage réglementaire et règlement

Le document cartographique de référence permet de localiser géographiquement les zones homogènes dans lesquelles s'appliquent les différentes dispositions retenues.

Le règlement présente les principes du zonage, à partir des choix qui ont été faits dans le contexte local. Il 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.

Éléments complémentaires

La note de présentation peut répertorier, si nécessaire, 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 possibi-

lités 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 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.

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.

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.

Mise en sécurité des cavités souterraines d'origine anthropique : Surveillance – Traitement – Guide technique INERIS DRS-07-86042-02484A – 2007.

Évaluation du risque d'instabilité en surface à l'aplomb d'une ancienne carrière souterraine-Principes d'une analyse par configurations types – Congrès International de Mécanique des Roches – Paris 1999.

Étude et gestion des marnières de Haute Normandie – guide technique, LCPC – 2008 – ISSN 1151-1516.

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.

Guide sur l'élaboration des PPR miniers – à paraître.

Réglementation de base et textes récents

Code de l'environnement :

- partie législative : articles L. 125-2 et articles L. 562-1 à L. 562-10 ;
- partie réglementaire : articles R. 125-9 à R. 125-26 et articles R. 561 à R. 563.

Code de l'urbanisme :

- partie législative : article L121-2 et article L126-1 ;
- partie réglementaire : article R111-2 et article R431-16.

Code civil :

- Livre II Titre II de la propriété – Articles 552, 553
- Livre II Titre IV des servitudes ou services fonciers – Articles 640, 641 et 681
- Livre II Titre IV des engagements qui se forment sans convention – Article 1384.

Décrets :

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 1995 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.

Décret n° 2011-765 du 28 juin 2011 relatif à la procédure d'élaboration, de révision et de modification des plans de prévention des risques naturels prévisibles.

Décret n° 2012-616 du 2 mai 2012 relatif à l'évaluation de certains plans et documents ayant une incidence sur l'environnement.

Exemples de PPRN

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).

Lien internet

Prim. net, portail de la prévention des risques majeurs : www.prim.net (notamment le catalogue numérique des risques majeurs : <http://catalogue.prim.net/>)

bdcavité, base de données nationale des cavités souterraines, www.cavites.fr InfoTerre, site d'information sur la géologie, l'eau et l'environnement : <http://infoterre.brgm.fr/>

INERIS, institut national de l'environnement industriel et des risques : www.ineris.fr

Légifrance – service public de la diffusion du droit, <http://www.legifrance.gouv.fr>

Géostandard de données Covadis PPR : <http://www.cnig.gouv.fr/Front/index.php?RID=152>

Lexique spécifique à la problématique cavités

A

ANGLE DE RUPTURE : angle, pris sur la verticale, qui délimite la zone de rupture des terrains de recouvrement en cas d'effondrement. À ne pas confondre avec l'angle d'influence qui délimite en surface la limite à partir de laquelle les mouvements de terrain engendrés deviennent nuls.

AFFAISSEMENT : déformation de surface consécutive à l'effondrement d'une cavité

AVEN : Gouffre (d'origine naturelle) ouvert sur les profondeurs

B

BANC : couche de roche se terminant au-dessus et au-dessous par une séparation lithostratigraphique nette, c'est la plus petite subdivision du terrain.

BÉTOIRE : point d'infiltration d'eau d'origine naturelle (débouché en surface d'un conduit vertical en profondeur)

BORD FERME : désigne la limite de la zone exploitée (terme voisin de front de masse)

BOULONNAGE : dispositif de renforcement composé d'une tige (le plus souvent métallique) comportant un scellement arrière (ancrage) et une plaque d'appui externe

BOURRAGE : remblais mis en place dans une carrière souterraine, pour combler les vides ou stocker les déchets de taille sans avoir à les remonter.

C

CARRIER : exploitant d'une carrière à ciel ouvert ou en souterrain

CATICHE : appellation employée dans le nord de la France pour désigner une exploitation de craie en forme de bouteille (**CRAYÈRE** en Champagne)

CAVAGE : entrée en cavage : Entrée d'une carrière, à flanc de coteau.

CAVE : cavité creusée par l'homme à des fins d'entreposage ou de refuge – Localement ancienne carrière transformée en champignonnière

CHAMBRE : partie excavée dans les creusements souterrains : la forme et les dimensions varient selon les types d'exploitation et la nature du massif encaissant.

CHAMBRES ET PILIERS : schéma d'exploitation constitué par des espaces ouverts réalisés par creusement de galeries et de traverses (recoupes) laissant en place des masses rocheuses (piliers)

CHEMINÉE (DE FONTIS) : évolution de la cloche de ciel tombé au travers du recouvrement et susceptible de déboucher en surface (fontis).

CIEL : banc rocheux laissé au toit d'une carrière formant son plafond. Ciel tombé : lorsque le ciel déterminé par le carrier vient à céder, constitue souvent une amorce de cloche de fontis

CLAVAGE : opération finale de comblement visant à obstruer tous les vides résiduels à l'aide d'une injection de coulis.

CLOCHE : ciel tombé qui évolue progressivement par éboulement des bancs du ciel en prenant une forme tronconique ou semi-elliptique (voûte).

COHÉRENT : terrain cohérent : faciès présentant un aspect régulier et résistant, peu ou pas affecté par la fracturation naturelle et l'altération.

COMBLEMENT : remplissage d'une cavité au moyen de matériaux d'apport (remblais). Synonyme : Remblaiement ou Remblayage.

CONFORTATION/CONFORTEMENT : édification de murs, poteaux, piliers maçonnés ou encore boulonnage, destinés à ralentir l'évolution d'une cavité souterraine.

D

DÉBOURRAGE : dislocation et écoulement brutal d'un remplissage argileux naturel ou d'un remblai anthropique (la plupart du temps sous l'effet d'une saturation en eau) à l'intérieur d'un conduit karstique ou dans un orifice vertical, entraînant en surface, l'apparition d'un trou d'emprise limitée.

DÉPILAGE : reprise d'extraction d'un pilier de masse, soit en vue d'un foudroyage, soit en vue d'une extraction partielle ou complète, à ciel ouvert, d'une ancienne carrière souterraine.

DOLINE : dépression circulaire d'origine karstique dont le fond est occupé par des argiles de dissolution des calcaires.

E

ÉLANCEMENT : rapport de la hauteur d'un pilier à sa plus petite largeur.

ÉPAUFRURE : dégradation des angles de piliers par chute d'éclats de roche.

ÉTAU DE MASSE : masse importante non exploitée conservée en carrière. Si l'épaisseur est faible, on parle de rideau de masse.

F

FACIÈS : ensemble de caractères lithologiques ou paléontologiques d'une roche qui renseigne sur ses conditions de dépôt et de formation.

FAILLE : fracture naturelle d'origine tectonique qui traverse le massif rocheux, éventuellement en décalant les couches (rejet).

FISSURE : cassure fine provoquée par la rupture de la roche pendant l'exploitation.

FONTIS : (phénomène en surface) : Cratère conique formé en surface par l'effondrement soudain des terrains à l'arrivée au jour d'une cloche d'éboulement.

FOUDROYAGE : (affaissement dirigé) opération de minage des piliers de carrière préalablement rognés pour provoquer la ruine volontaire des cavages.

FRONT DE MASSE : limite de la masse exploitée (front de taille)

G

GALERIE : voie d'accès ou d'exploitation en souterrain. Les dimensions, très variables, sont déterminées par la hauteur des bancs à extraire, la circulation pour l'évacuation des blocs, la solidité du ciel. Synonyme : « Rues ». Les « allées » ou « recoups » sont perpendiculaires aux rues.

GISEMENT : lieu où l'on rencontre une substance ou des matériaux exploitables.

H

HAGUE : mur en pierres sèches servant à retenir les bourrages.

I

INJECTION : comblement de cavités mis en œuvre depuis la surface et pratiquée avec des produits faisant prise (cendres/ciment – sable/ciment, etc.)

K

KARSTIQUE : dans les régions calcaires, les eaux d'infiltration dissolvent le massif et déterminent les reliefs particuliers (dépressions de surface, grottes, etc.). Les Causses en France montrent des exemples de morphologie karstiques. Par analogie, les zones de dissolution dans le calcaire peuvent être appelées « Karsts » ou « couloirs karstiques ».

L

LITHOLOGIE : nature des roches d'une formation géologique

M

MARNIÈRE : terme à l'origine spécifique aux anciennes exploitations de craie de Normandie creusées dans un but d'amendement agricole. Chambres isolées accessibles par puits unique et d'extension latérale souvent limitée.

MUR : limite inférieure d'un banc ou d'une exploitation. Synonyme : « sol » de carrière, parfois « sole ».

P

PENDAGE : inclinaison d'une couche géologique, par défaut d'un gisement exploité. La plupart du temps dans les bassins sédimentaires, le pendage des couches géologiques, où sont situées les carrières et les cavités d'origine anthropique à faible profondeur, est horizontal.

PILIER : masse de pierre laissée en place plus ou moins régulièrement pour soutenir le ciel d'une carrière souterraine. Synonyme : « Pilier tourné ».

PILIER BARRIÈRE : pilier de grandes dimensions, laissé volontairement en place par un exploitant pour renforcer la stabilité générale de l'exploitation. À ne pas confondre avec une masse vierge (ou stot), partie du gisement non exploitée car située sous une zone à enjeux ou dans un secteur non favorable (passage couloirs karstiques).

PORTÉE : largeur du toit d'une galerie ou d'une chambre d'exploitation entre deux appuis.

PUITS : orifice vertical, créant un accès depuis la surface ou depuis d'autres galeries superposées. Le diamètre et la forme varient selon l'utilisation, aérage, extraction, descente du personnel ou acheminement des matériels.

PUITS NATUREL : dissolution verticale créée par des circulations d'eau et se développant le long d'une fracture naturelle ou d'une faille.

PULVÉRULENT : terrain pulvérulent : terrain constitué par des formations non cohérentes (terre arable, sables, roches altérées et fracturées...) et susceptible, de s'ébouler rapidement en formant des talus à l'équilibre limite de 25 à 45° de pente.

PURGER : action de décoller et de faire tomber des blocs instables.

Q

QUARTIER : zone particulière définie par le carrier et portant généralement un nom propre.

R

RECOUVREMENT : ensemble des terrains situés entre le ciel de carrière et la surface. Synonyme : couverture

S

SAPE – SOUTERRAINS : les sapes de guerre et les souterrains refuges sont des cavités dont l'origine reste étroitement liée au contexte historique de la région. Ces ouvrages sont souvent creusés à faible profondeur et peuvent présenter différentes formes. Ils constituent également un danger du fait de l'absence de relevé précis.

SOUFFLAGE : soulèvement du sol de carrière consécutif au poinçonnement des piliers dans le sol du gisement.

SOUS-PIED : banc qui forme le sol d'une carrière souterraine (mur). Lorsque ce banc est exploité à son tour, on parle de reprise en sous-pied.

STÉRILES : matières non exploitables, terrains recouvrant les masses calcaires.

T

TAUX DE DÉFRUITEMENT : rapport dans un plan horizontal de la surface exploitée à la surface totale.

TOIT : synonyme de ciel de carrière (« toit immédiat ») ou masse supérieure d'une exploitation souterraine (1^{er} banc de toit, 2^e banc de toit, etc.).

TORPILLAGE : solution destructive de suppression d'une cavité, soit par abattage à l'explosif du toit et/ou des piliers, soit par dépilage systématique des piliers en laissant s'effondrer les terrains de recouvrement. Cette méthode est le plus souvent utilisée lors des phases d'exploitation (foudroyage contrôlé) mais peut être mise en œuvre dans certaines configurations pour des cavités abandonnées proches de la surface.

TRÉFONDS : sous-sol d'un terrain considéré sous l'angle d'une propriété (immeuble par nature).

V

VIDES RÉSIDUELS : ensemble des vides subsistant au-dessus du remblai, après le remblayage partiel d'une ancienne carrière souterraine (absence de clavage).

Le territoire français est largement concerné par des risques récurrents liés aux cavités souterraines, qu'elles soient d'origine anthropique ou naturelle (carrières souterraines, refuges et habitats troglodytiques, sapes de guerre, grottes, karsts...). Ces cavités, le plus souvent abandonnées, souvent peu profondes, mal connues ou parfois oubliées, peuvent en effet être à l'origine d'événements brutaux avec des conséquences plus ou moins graves pour les vies humaines et les biens, notamment au cœur de zones urbanisées ou potentiellement urbanisables.

La protection des populations et la gestion des terrains exposés à ces aléas constituent l'une des préoccupations fortes des services de l'État dans les politiques d'affichage et de prévention relatives aux risques naturels majeurs.

Le Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles, instauré par la loi du 2 février 1995, représente à ce titre un des outils qui peuvent être mis en œuvre pour prévenir ce type de risques dans des territoires fortement exposés.

Ce guide méthodologique a été établi pour aider les services déconcentrés de l'État à préparer et suivre les études propres à cette problématique particulière. Il s'adresse également aux responsables des collectivités locales amenés à gérer les documents d'urbanisme et aux bureaux d'études techniques appelés à travailler sur ce sujet.

Il présente tout d'abord le contexte réglementaire, en particulier les dispositions spécifiques aux cavités souterraines, puis décrit les phénomènes et mécanismes à l'origine de l'aléa. Les phases d'études techniques (collecte des données, évaluation et cartographie de l'aléa et dans une moindre mesure, appréciation des enjeux) sont ensuite présentées en précisant les éléments qu'il y a lieu de prendre en compte dans le contexte spécifique de la présence de cavités.

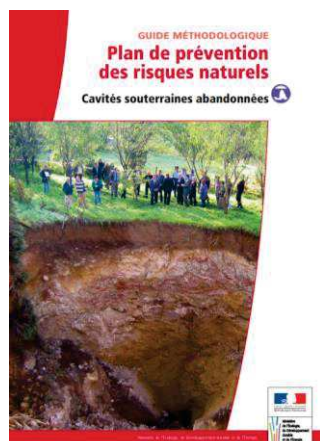
Les dernières parties du guide s'attachent enfin à décrire la démarche réglementaire et proposent, en s'appuyant sur divers retours d'expérience, des exemples de mesures simples, adaptées à la prévention des risques liés à la présence de cavités souterraines abandonnées.



**Ministère de l'Écologie,
du Développement durable et de l'Énergie**
Direction générale de la Prévention des risques
Grande Arche, paroi Nord
92055 La Défense cedex
Tel : 01 40 81 21 22



Annexe 1 : addendum du guide méthodologique « *Plan de prévention des risques naturels - Cavités souterraines abandonnées* » de 2012



Guide Méthodologique Plan de prévention des risques naturels Cavités souterraines abandonnées

Addendum

Novembre 2024

En référence au guide méthodologique sur les plans de prévention des risques naturels - Cavités souterraines abandonnées¹ de 2012, cet addendum vise à préciser quels éléments sont modifiés ou complétés, plus spécifiquement sur l'évaluation et la cartographie de l'aléa d'effondrement localisé. Des éléments plus précis sont disponibles dans la note en **annexe 2** intitulée « *Éléments d'homogénéisation de la caractérisation de l'aléa d'effondrement localisé lié aux cavités souterraines* ».

¹ Guide disponible sous :

https://osmose.numerique.gouv.fr/jcms/p_3171874/fr/mte-espace-national-risques-naturels?documentKinds=&explorerCurrentCategory=p_8564333&mids=&portlet=p_3171872&types=ALL&displayedPublication=319264524_DBFileDocument

Le tableau page 39 « Hiérarchisation des classes d'intensité pour un effondrement localisé » :

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	$\emptyset > 10 \text{ m}$

Est modifié comme suit :

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement
Très limitée	Effondrement auto-remblayé à proximité immédiate de la surface (« flache » de profondeur centimétrique)
Limitée	$\emptyset < \mathbf{5 \text{ m}}$
Modérée	$\mathbf{5 \text{ m}} < \emptyset < 10 \text{ m}$
Élevée	$\emptyset > 10 \text{ m}$

Considérant les évolutions récentes des classes d'intensité liées aux phénomènes analogues d'effondrements localisés d'origine minière (sur la base des dispositions constructives pour le bâti neuf situé en zone d'aléa de type fontis établi par le Centre scientifique et technique du bâtiment), **le seuil entre l'intensité limitée et modérée passe de 3 m à 5 m.**

En complément des paramètres déjà énumérés en pages 43 et 44, le tableau suivant précise les critères d'appréciation du niveau de prédisposition d'une zone à la manifestation du phénomène d'effondrement localisé jusqu'en surface sur un site donné :

Prédisposition d'une zone à la manifestation d'un effondrement localisé	Critères d'appréciation	
	Cavité accessible	Cavité non accessible
Très sensible	Plusieurs fontis en surface se sont déjà produits sur le site concerné <u>ou</u> le site présente des conditions de stabilité souterraines très dégradées (piliers ruinés, chutes de toits observés, suivi instrumenté évolutif) avec des lithologies, des profondeurs et des volumes de vide favorables au développement du phénomène <u>et</u> Le site peut présenter des facteurs aggravants pouvant déclencher le phénomène.	Plusieurs fontis en surface se sont déjà produits sur le site concerné
Sensible	Un fontis s'est déjà produit sur le site concerné ou le phénomène s'est déjà produit sur un site similaire au site concerné <u>et</u> Le site présente des configurations peu dégradées (observation ou suivi instrumenté peu évolutif) mais les caractéristiques du site et le retour d'expérience définissent comme possible la réalisation du phénomène sur le site concerné (notamment une profondeur et un volume de vide connus et favorables au développement du phénomène) <u>et</u> Le site peut présenter des facteurs aggravants pouvant déclencher le phénomène.	Un fontis s'est déjà produit sur le site concerné ou le phénomène s'est déjà produit sur un site similaire au site concerné <u>et</u> Les conditions sont remplies pour que le phénomène se produise sur le site concerné à l'échelle de vies humaines (certitude sur l'existence de cavités, connaissance suffisante des caractéristiques permettant de démontrer l'initiation et la réalisation du phénomène, lithologie, profondeur et volume de vide connus et favorables au développement du phénomène) <u>et</u> Le site peut présenter des facteurs aggravants pouvant déclencher le phénomène.
Peu sensible	Aucun fontis en surface n'est recensé sur site ni sur site similaire <u>et</u> Le site présente des configurations non dégradées (observation ou suivi instrumenté non évolutif) mais les caractéristiques du site et le retour d'expérience définissent comme possible la réalisation du phénomène sur le site concerné (notamment une profondeur et un volume de vide connus et favorables au développement du phénomène) <u>et</u> Aucun facteur aggravant susceptible de favoriser ou déclencher le phénomène n'est connu.	Aucun fontis en surface n'est recensé sur site ni sur site similaire <u>et</u> Les conditions sont remplies pour que le phénomène se produise sur le site concerné à l'échelle de vies humaines (certitude sur l'existence de cavités, connaissance suffisante des caractéristiques permettant de démontrer l'initiation et la réalisation du phénomène, lithologie, profondeur et volume de vide connus et favorables au développement du phénomène) <u>et</u> Aucun facteur aggravant susceptible de favoriser ou déclencher le phénomène n'est connu.
Non sensible	Les configurations observées, les caractéristiques connues (remblayage total ou quasi total, profondeur, foisonnement) ainsi que le retour d'expérience permettent d'écarter toute réalisation du phénomène. Exemples : • cas d'une cavité remblayée dans les règles de l'art ; • cas d'une cavité a priori auto-comblée par foisonnement (en cas d'effondrement) ; • cas d'une cavité effondrée où les conditions de nouveaux effondrements ne sont plus remplies	

La notion de « **présomption de présence de vide** », détaillée page 43, est remplacée par la notion d'« **emprise de cavités supposées** ». Une **prédisposition forfaitaire « indéterminée »** est définie pour toutes les emprises de cavités supposées.

Le tableau page 46 proposant un exemple de grille de hiérarchisation des classes d'aléa :

EXEMPLE D'UNE GRILLE DE HIÉRARCHISATION DES CLASSES D'ALÉA			
Probabilité d'occurrence \ Intensité	faible	moyenne	forte
Très limitée (affaissements et effondrements autoremblayés)	faible	faible	moyen
Limitée (affaissements nets et petits fontis)	faible	moyen	moyen
Modérée (effondrements localisés)	moyen	moyen	fort
Élevée à très élevée (fontis importants et effondrement généralisé)	moyen	fort	très fort

Est remplacé, pour les effondrements localisés, par les deux tableaux suivants :

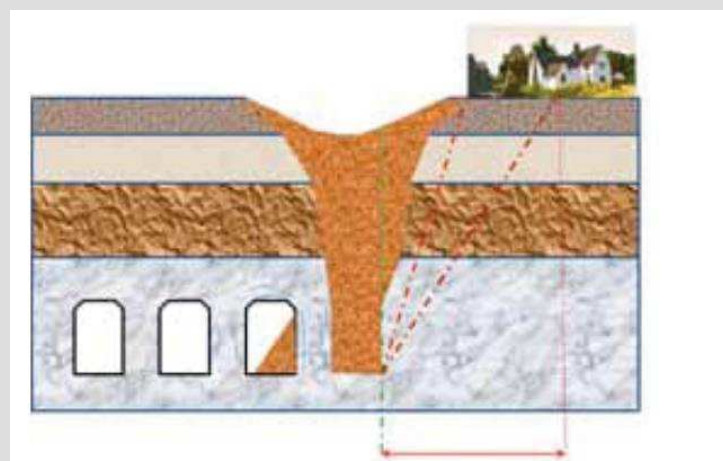
Cavité avérée		Prédisposition			
		Non sensible	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Intensité	Très limitée	Pas d'aléa	Faible	Faible	Faible
	Limitée	Pas d'aléa	Faible	Faible	Moyen
	Modérée	Pas d'aléa	Faible	Moyen	Fort
	Élevée	Pas d'aléa	Moyen	Fort	Fort

Grille de hiérarchisation des classes d'aléa pour une cavité avérée

Emprise de cavité supposée		Prédisposition - indéterminée
Intensité	Très limitée	Faible
	Limitée	Faible
	Modérée	Faible
	Élevée	Moyen

Grille de hiérarchisation des classes d'aléa pour une emprise de cavité supposée

La figure page 48 relative à la marge de reculement :



Est remplacée par les deux figures suivantes de cartographie de la marge de reculement considérant, d'une part, une topographie de surface plane (figure de gauche) et, d'autre part, une topographie de surface pentée (figure de droite) :

