



HAL
open science

Etablissement d'un Plan de Prévention des Risques liés à la présence d'anciennes carrières souterraines. Principes d'une analyse par configurations types

Christophe Didier

► **To cite this version:**

Christophe Didier. Etablissement d'un Plan de Prévention des Risques liés à la présence d'anciennes carrières souterraines. Principes d'une analyse par configurations types. Conférence de la Décennie Internationale de la Prévention des Catastrophes Naturelles, Jun 1999, Paris, France. pp.85-92. ineris-00972164

HAL Id: ineris-00972164

<https://ineris.hal.science/ineris-00972164>

Submitted on 3 Apr 2014

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

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

Etablissement d'un Plan de Prévention des Risques liés à la présence d'anciennes carrières souterraines. Principes d'une analyse par configurations types.

Elaboration of a Risk Prevention Program above old underground mines. Principles of an analysis based on representative configurations.

Christophe DIDIER
INERIS, Parc Technologique Alata, BP N°2, 60550 Verneuil-en-Halatte, FRANCE.
Tél : 03-44-55-68-36. Fax : 03-44-55-67-00. E-mail : Christophe.Didier@ineris.fr.

Résumé :

Les quartiers nord-ouest de la commune d'Aix-en-Provence (sud-est de la France) sont en partie sous-minés par de très anciennes carrières souterraines de gypse dont, pour la plupart, on ne connaît plus exactement ni la localisation ni l'extension. Un Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) a été prescrit pour maîtriser l'urbanisation des zones concernées et gérer les risques liés au bâti existant.

Pour mener à bien l'établissement de ce PPR, l'INERIS a développé une technique d'analyse par types de configurations permettant de regrouper l'ensemble du secteur d'étude (plus d'un millier d'hectares) en un nombre limité d'environnements représentatifs soumis à des mécanismes d'évolution et des manifestations d'instabilités de surface sensiblement identiques. Sept configurations types ont ainsi pu être identifiées. Chacune a été soumise à une méthode de hiérarchisation de l'aléa spécifiquement adaptée au cas d'Aix-en-Provence. Enfin, le principe adopté pour transcrire la cartographie de l'aléa en terme de zonage réglementaire est présenté.

Mots-clés : PPR, aléa, risque géotechnique, carrières souterraines abandonnées.

Abstract :

The north-western districts of Aix-en-Provence (South-East of France) are partly undermined by very old underground abandoned gypsum mines whose localization and extension are no more precisely known. A geotechnical hazard prevention study was prescribed in order to control the urbanization of the studied zone and to manage the potential risks related to the existing frame.

INERIS developed a method based on the analysis of representative configurations allowing to define within the whole studied zone (more than thousand hectares) a limited number of representative configurations within which mechanisms of evolution and surface instability phenomena are nearly similar. Hence, seven representative configurations have been identified. A specific hazard assessment method has then been applied to each configuration in order to grade the different hazard levels. Lastly, the principle adopted to transcribe the hazard mapping in term of lawful prescriptions is presented.

1. Introduction

1.1 Objet et champ d'application d'un Plan de Prévention des Risques

Selon la loi n° 95.101 du 2 Février 1995 et conformément au décret n° 95.1089 du 5 Octobre 1995, l'Etat élabore et met en application des Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR). Ces derniers peuvent notamment s'appliquer aux risques de mouvements de terrain et en particulier aux risques d'affaissement et/ou d'effondrement résultant de la présence d'anciennes cavités souterraines abandonnées.

Un PPR a pour principal objet de délimiter les zones exposées au(x) risque(s) pris en compte et de définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde relatives aux aménagements existants et futurs qui doivent être prises par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui incombent aux particuliers (Guide général PPR, la documentation Française, 1997).

Un PPR constitue une servitude d'utilité publique qui doit être respectée par les documents d'urbanisme et les autorisations d'occupation des sols. Il est annexé au POS selon l'article 126-1 du Code de l'Urbanisme. Il a un effet rétroactif puisqu'il peut imposer des mesures aux constructions, ouvrages, biens et activités existant antérieurement à sa publication.

1.2 Motivation du PPR de la commune d'Aix-en-Provence

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

L'ancienneté des exploitations, le vieillissement naturel du gypse, les résistances et épaisseurs souvent faibles des terrains de recouvrement et l'existence de plusieurs couches exploitées laissent supposer, dans le long terme, l'occurrence possible de désordres en surface en cas d'éboulement des travaux souterrains. Pour maîtriser l'urbanisation des zones concernées et gérer les risques liés au bâti existant, le Préfet des Bouches du Rhône a prescrit, en date du 15 juin 1998, l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques naturels de mouvements de terrains liés à l'existence de carrières souterraines de gypse.

2. Contexte de l'étude

2.1 Topographie et géologie du site

Situé à quelques kilomètres au Nord-Ouest de la commune d'Aix-en-Provence, le périmètre d'étude s'étend sur plus d'un millier d'hectares. Il englobe le flanc sud d'une butte dont le sommet est formé par un entablement calcaire. Le versant de cette butte présente des pentes relativement douces à sa base et une partie plus abrupte au sommet, au niveau de la barre calcaire. La figure n°1 présente une coupe schématique de la butte mettant en évidence la nature des terrains rencontrés.

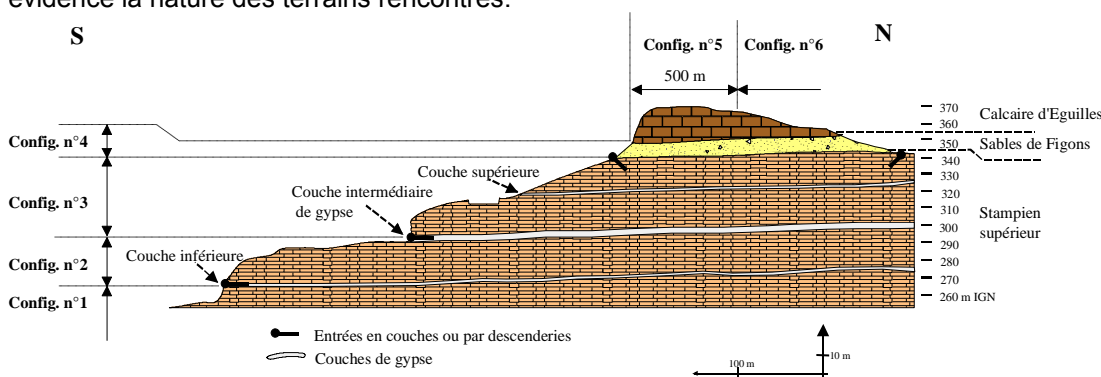


Figure n°1 : Coupe schématique de la butte de Célongy.

De la base jusqu'au sommet, on observe ainsi successivement :

- les formations marno-calcaires du Stampien supérieur au sein desquelles sont présents plusieurs niveaux de gypse d'épaisseur variable ;
- les sables de Figons dont l'épaisseur varie de 1 à 5 m et qui sont souvent masqués par des colluvions quaternaires de bord de pente ;
- l'entablement de calcaire d'Eguilles dont l'homogénéité et la résistance varient considérablement sur l'ensemble du secteur étudié (fronts massifs à zones érodées).

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

2.2 Historique, typologie et localisation des excavations

L'exploitation du gypse dans le secteur de Célongy remonte à une période très ancienne. Dès le XIV^{ème} siècle, il est fait mention de l'existence de plâtrières dans le secteur. En 1821, 8 exploitations souterraines étaient en activité, elles étaient 13 au début de ce siècle. Seules deux carrières survécurent à la seconde guerre mondiale, la dernière faisant l'objet d'une autorisation d'abandon en 1956.

On dispose de renseignements assez précis sur les exploitations les plus récentes. Toutes étaient relativement étendues et exploitées par la technique dite des « chambres et piliers abandonnés » qui consiste à laisser en place des piliers de matériau permettant de garantir, pendant l'exploitation, la stabilité des ouvrages. Les galeries d'exploitation présentaient des largeurs généralement voisines de 4 mètres pour des largeurs de piliers d'une dizaine de mètres environ. D'après les informations disponibles, il semble que ces exploitations récentes n'aient intéressé que la couche intermédiaire de gypse (puissance de la couche variant entre 1,70 m et 2 m).

Les techniques d'exploitation anciennes diffèrent sensiblement des plus récentes. Aux XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles, les carriers exploitaient systématiquement, la couche supérieure de gypse et, très fréquemment, la couche intermédiaire (Comte de Villeneuve, Statistiques des Bouches du Rhône, Tome I, Chapitre VI, 1821). Pour assurer la présence d'un banc suffisamment massif au toit et limiter les risques d'éboulement dans les galeries, les ouvriers abattaient généralement les bancs calcaires de mauvaise qualité qui surplombaient les couches de gypse. Ainsi, malgré des épaisseurs de gypse de l'ordre de 1,50 à 2 m, les hauteurs de vides résiduels dépassaient localement 4 mètres. Toutefois, pour éviter de remonter les stériles calcaires au jour, les déchets d'exploitation servaient à remblayer les galeries. On ne dispose d'aucun renseignement précisant si les carriers remblayaient certains secteurs, d'autres restant vides, ou si, au contraire, ils remblayaient partiellement toutes les galeries.

Compte tenu de sa faible épaisseur (0,70 m environ), la couche inférieure de gypse n'a que très rarement été exploitée en souterrain. Parmi les différents indices retrouvés, un seul fait ainsi mention de l'existence d'une exploitation menée dans cette configuration.

Seules les carrières les plus récentes possèdent des plans d'exploitation. Pour les autres, les documents techniques ont presque intégralement disparu ce qui complique considérablement leur localisation. Sept zones sous-minées ont pu être identifiées en s'appuyant sur l'existence d'indices de vides suffisamment nombreux et précis pour mettre en évidence, ou tout du moins présumer fortement, l'existence d'anciennes exploitations souterraines dans le secteur (plans d'exploitation, présence de puits ou de descenderies).

Les exploitations récentes se trouvent pour la plupart sous l'entablement calcaire (présence du gypse de meilleure qualité protégé des phénomènes de dissolution et des perturbations géologiques). Les bordures de versant ne sont toutefois pas épargnées. Même si le gypse y était probablement de moins bonne qualité, la possibilité de rentrer directement en couche et la moins grande profondeur des travaux facilitaient les travaux d'extraction. La majorité des exploitations situées à flanc de coteau sont donc, en général, des carrières plus anciennes.

Les quelques indices de cavités répertoriés ne suffisent pas à recenser les très nombreuses exploitations qui se sont développées dans le secteur. Certains de ces indices ont été relevés lors des visites de reconnaissance du site, bien qu'aucun document d'archives ne fasse référence à l'existence d'exploitations dans le secteur concerné. Une reconnaissance exhaustive et détaillée de l'ensemble du secteur d'étude étant toutefois impossible (grande extension du domaine d'étude, nombreuses propriétés privées, zones non accessibles...), il est très probable que, localement, il demeure d'autres zones sous-minées dont on ignore l'existence. L'analyse de risque doit donc impérativement être menée sur l'ensemble du secteur d'étude et ne peut être restreinte aux seuls secteurs connus pour être sous-minés.

3. Principe et intérêt d'une analyse par configurations types

La diversité des configurations d'exploitation et l'étendue du secteur d'étude compliquent considérablement la démarche d'analyse des aléas. Il existe, sur le secteur, trois couches de gypse dont deux ont été intensément exploitées. La troisième couche, la moins épaisse, n'a été que très localement exploitée. L'exploitation s'est parfois développée exclusivement en couche supérieure, parfois exclusivement en couche intermédiaire, parfois en couches intermédiaire et supérieure superposées. L'accès aux travaux souterrains se faisait soit directement en couche au niveau de l'affleurement, soit par l'intermédiaire de puits ou de plans inclinés. Certaines exploitations étaient menées sous le flanc du coteau, d'autres se sont étendues sous le plateau calcaire. Toutefois, au vu des différents documents collectés et des témoignages recueillis, il apparaît qu'au delà d'une distance de 500 mètres au Nord de la bordure du plateau calcaire, la probabilité de présence d'anciennes exploitations souterraines peut être considérée comme nettement plus faible qu'en deçà de 500 mètres.

L'extension très importante de la zone d'étude et la grande variabilité des paramètres susceptibles d'influer sur le comportement à long terme des terrains de surface (indices de vides, méthodes d'exploitation, mécanismes de dégradation, épaisseur et nature du

recouvrement...) nous ont conduit à réaliser l'analyse des aléas par types de configurations, en prenant notamment en compte les contextes géologiques et d'exploitation.

La démarche adoptée a consisté, dans une première phase, à identifier les différentes configurations types qui permettent de regrouper l'intégralité du secteur étudié en un nombre restreint d'environnements représentatifs soumis à des mécanismes d'évolution et des manifestations d'instabilités de surface sensiblement identiques. Cette identification a été établie en combinant entre eux les principaux paramètres susceptibles d'influer sur la typologie des désordres prévisibles en surface. Dans le cadre de la présente étude, les paramètres fondamentaux retenus ont été la nature et l'épaisseur des terrains constituant le recouvrement rocheux situé à l'aplomb des exploitations existantes ou potentielles.

L'existence de vides connus ou d'indices mettant en évidence, de façon certaine ou très probable, la présence d'exploitations souterraines joue également un rôle prépondérant dans l'évolution de la stabilité de la surface. Cependant, pour ne pas multiplier le nombre de configurations, ce qui serait défavorable à la clarté de la méthode d'analyse, cet aspect n'a pas été retenu en première approche et n'interviendra que dans une phase plus avancée de l'analyse (évaluation de la probabilité d'occurrence de désordres en surface).

La définition des différentes configurations retenues s'est donc appuyée sur les seuls paramètres géologiques et topographiques. Six configurations principales ont ainsi été établies. Elles permettent de couvrir les différents terrains de surface situés à l'intérieur du périmètre d'étude (figure n°1). Elles regroupent les terrains de surface :

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

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

4. Caractérisation de l'aléa

4.1 Définition de l'aléa

L'aléa est un concept spécifique à la terminologie 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*.

4.1.1 Classes d'intensité

L'intensité du phénomène correspond essentiellement aux types de manifestations susceptibles d'affecter la surface et aux types de dégâts qu'elles peuvent engendrer. Au vu de l'analyse des mécanismes de rupture susceptibles d'affecter les exploitations souterraines de Célony, trois classes d'intensité ont été retenues.

Cuvette d'affaissement : on parle de « cuvette d'affaissement » lorsque le réajustement des contraintes lié à la présence de vides souterrains se traduit en surface par un fléchissement des terrains qui s'effectue de manière souple et progressive, sans rupture cassante. L'affaissement de la surface peut engendrer une dégradation du bâti situé dans la zone mais ne s'avère que très rarement dangereux pour la sécurité des personnes.

Effondrement localisé : on appelle « effondrement localisé », un mouvement gravitaire généralement brutal qui résulte de phénomènes d'instabilité affectant le toit d'une exploitation souterraine ou la stabilité d'un (ou de quelques) petit(s) pilier(s). L'effondrement laisse apparaître en surface des fractures et/ou des ruptures nettes. Du fait de la faible extension du phénomène, les conséquences en surface sont souvent

limitées mais elles peuvent s'avérer très graves si elles se localisent sous une construction ou infrastructure.

Effondrement généralisé : on parle « d'effondrement généralisé » lorsqu'un quartier entier de la carrière s'éboule et entraîne l'effondrement de la surface sur une superficie importante (classiquement plusieurs hectares). Généralement, à cette profondeur et pour ce type de matériau, l'effondrement de la surface est généralement brutal, accompagné de l'apparition de fractures et d'une importante libération d'énergie. Le phénomène est très presque toujours dangereux pour la sécurité des personnes et des biens situés dans son emprise.

4.1.2 Classes de probabilité d'occurrence

La détermination de la probabilité d'occurrence des désordres est généralement l'étape la plus délicate de l'analyse. Elle pose le difficile problème de la prévision dans le temps des ruptures de terrains. Si une approche probabiliste semble bien adaptée aux séismes et aux inondations, phénomènes « cycliques », les mouvements de terrain sont au contraire des phénomènes non périodiques qui évoluent de manière quasi-imperceptible durant de longues périodes avant de subir une accélération soudaine. Ils sont donc très difficilement prévisibles en terme de probabilité.

Plutôt que d'estimer une probabilité d'occurrence correspondant à une période donnée (décennale, centennale...), qui laisse une grande place à la subjectivité et à l'incertitude, l'approche de ce concept a donc été menée en terme de prédisposition du site vis-à-vis d'un type de rupture. Cette prédisposition est généralement évaluée en fonction des seuls paramètres caractérisant l'environnement du secteur considéré (épaisseur de recouvrement, présence de vides) et la technique d'exploitation correspondante (petits piliers, niveaux superposés), autant de facteurs exprimant la « sensibilité » du site. La détermination de cette sensibilité s'appuie sur l'analyse des scénarios et mécanismes de rupture susceptibles d'affecter les cavités souterraines. Chaque type de phénomène se voit attribuer une probabilité d'occurrence spécifique (en un point donné, les probabilités d'apparition d'un effondrement généralisé et d'un affaissement progressif ne sont pas identiques). Quatre classes de sensibilité ont été retenues : *nulle à négligeable, faible, moyenne et forte*.

Dans le cas particulier du PPR de Célony, l'extension très importante de la zone d'étude et le peu d'informations disponibles, compte tenu de l'ancienneté des travaux souterrains, nous ont conduit à introduire un autre concept : la probabilité de présence de vides.

Avant même d'étudier la sensibilité du site à la rupture, pour qu'un désordre puisse affecter les terrains de surface il faut bien évidemment qu'un vide souterrain existe. Or, au vu des informations collectées, la probabilité de présence d'anciens travaux souterrains varie considérablement en fonction de la configuration géologique étudiée.

Quatre classes de probabilité de présence de vides ont été retenues : *nulle à négligeable* pour les configurations non adaptées à l'exploitation de gypse en souterrain (pas de gypse dans les terrains) ; *faible* pour les zones situées dans une configuration géologique peu adaptée à l'exploitation de gypse (couche peu épaisse, profondeur du matériau trop importante) ; *moyenne* pour les zones situées dans une configuration a priori favorable à l'exploitation de gypse en souterrain mais pour lesquelles on ne possède aucun indice de vides (affleurement des couches supérieure et intermédiaire de gypse), et *forte* pour les zones où on possède des indices permettant de mettre en évidence la présence d'exploitations souterraines.

Le croisement de la probabilité de présence de vides avec la sensibilité du site à un type de rupture en présence de vides permet de définir la classe de probabilité d'occurrence correspondante (*négligeable, très faible, faible, moyenne, forte*). Le principe de définition de ces classes est explicité dans le tableau n°1.

Sensibilité Probabilité de vides	Négligeable	Faible	Moyenne	Forte
Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
Faible	Négligeable	Négligeable	Très faible	Faible

Moyenne	Négligeable	Très faible	Faible	Moyenne
Forte	Négligeable	Faible	Moyenne	Forte

Tableau n°1 : Principe d'évaluation de la classe de probabilité d'occurrence.

4.1.3 Niveaux d'aléa

On obtient les différents niveaux d'aléa en croisant les intensités des désordres potentiels avec leur probabilité d'occurrence correspondante. Le tableau n°2 en fournit les principes.

Probabilité d'occurrence Intensité	Négligeable	Très faible	Faible	Moyenne	Forte
Classe 1 : Affaissement	Négligeable	Négligeable	Très faible	Faible	Moyen
Classe 2 : Effond. local	Négligeable	Très faible	Faible	Moyen	Fort
Classe 3 : Effond. général.	Négligeable	Faible	Moyen	Fort	Très fort

Tableau n°2 : Principe de hiérarchisation des niveaux d'aléa.

Cette caractérisation a pour objectif de hiérarchiser les niveaux d'aléa qui caractérisent les différentes configurations. Les niveaux d'aléa « fort » ou « très fort » signifient que les zones concernées sont plus prédisposées à l'apparition de dégradations en surface (engendrées par des désordres en carrière) que les niveaux d'aléa « moyen » ou « faible ». La hiérarchisation n'en demeure pas moins *relative*. Les désordres prévisibles dans le secteur d'étude pourraient en effet induire un niveau d'aléa moindre sur d'autres sites où les carrières souterraines présentent des configurations plus défavorables que celles de Célony. Par mesure conservatoire, lorsqu'un secteur est potentiellement affecté par plusieurs types d'instabilité, on retient le niveau d'aléa le plus élevé. D'autre part, s'agissant d'une analyse de stabilité portant sur d'anciens travaux aujourd'hui abandonnés et qui ne sont pas destinés à être repris ou confortés, il importe de *considérer le risque à terme* en tenant compte du vieillissement inéluctable des caractéristiques de résistance du matériau.

4.2 Exemple d'application de la méthode à une configuration type

Pour illustrer la mise en œuvre de la méthode d'analyse, nous l'appliquons à la configuration n°3 correspondant aux terrains de surface situés entre l'affleurement de la couche intermédiaire de gypse et l'affleurement des sables des Figons. Cette configuration englobe la majorité des terrains qui constituent les flancs de la butte (figure n°1).

4.2.1 Analyse des possibles scénarios de rupture

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

Comme toutes les exploitations menées par chambres et piliers abandonnés, les vieux travaux de Célony sont essentiellement sensibles à deux types de rupture : effondrement de piliers et/ou rupture de toit. L'épaisseur limitée de recouvrement et les dimensions a priori importantes des piliers limitent toutefois les risques de rupture en chaîne de piliers. Même si ceux-ci ne peuvent être totalement exclus du fait notamment de l'existence d'exploitations mal superposées, la sensibilité du site à un effondrement généralisé peut être considérée comme faible.

La hauteur de vide assez importante (les anciens carriers surélevaient les cavités pour laisser au toit un banc suffisamment résistant), l'épaisseur limitée et la faible résistance des terrains de recouvrement (alternances marno-calcaires très feuilletées) confèrent en revanche une sensibilité forte du site vis-à-vis des phénomènes de type affaissement et d'effondrement localisé.

4.2.2 Hiérarchisation de l'aléa

Sensibilité du site à la rupture : Forte pour affaissement, Forte pour effondrement localisé, Faible pour effondrement généralisé.

Zones sans indices de vides connus

Probabilité de présence de vides : Moyenne

	Classe 1 Affaissement	Classe 2 Effondrement localisé	Classe 3 Effondrement généralisé
Probabilité d'occurrence	Moyenne	Moyenne	Faible
Aléa correspondant	Faible	Moyen	Moyen
Aléa global de la zone	Moyen		

Zones avec indices de vides

Probabilité de présence de vides : Forte

	Classe 1 Affaissement	Classe 2 Effondrement localisé	Classe 3 Effondrement généralisé
Probabilité d'occurrence	Fort	Fort	Faible
Aléa correspondant	Moyen	Fort	Moyen
Aléa global de la zone	Fort		

4.3 Hiérarchisation de l'aléa

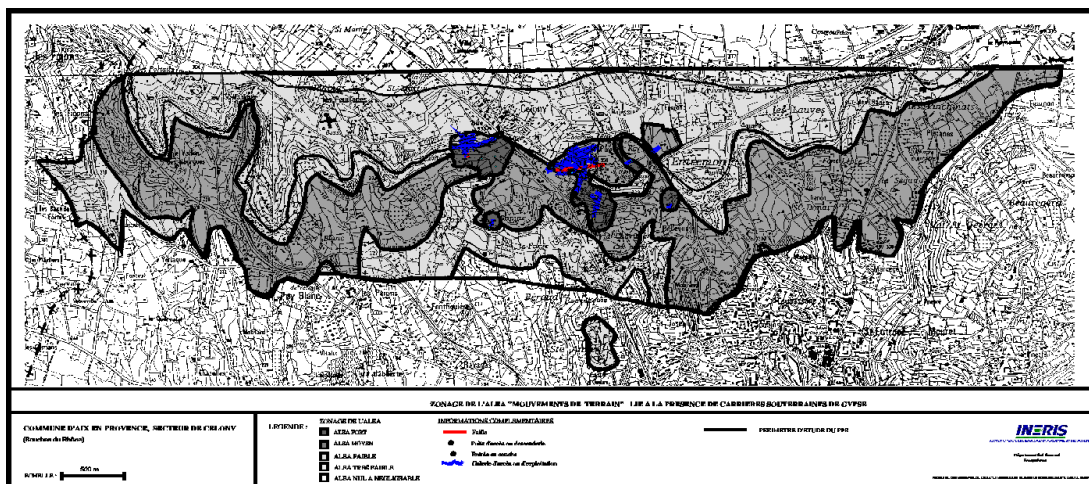
On applique de la même manière la méthode d'analyse aux autres configurations afin de hiérarchiser les différents niveaux d'aléa sur l'ensemble de la zone. Les résultats sont reportés dans le tableau n°3.

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

Tableau n°3 : Niveaux d'aléa affectés aux différentes configurations.

4.4 Cartographie de l'aléa

Une fois la démarche appliquée à l'ensemble des configurations, on reporte les différents niveaux d'aléa sur un fond topographique afin de réaliser une cartographie de l'aléa couvrant l'ensemble des secteurs exploités (figure n°2).



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

5. Transcription en terme de zonage réglementaire

La hiérarchisation de l'aléa et la réalisation du zonage réglementaire sont deux démarches spécifiques dont les objectifs diffèrent fondamentalement. La première vise à identifier les différents types de désordres susceptibles d'affecter les terrains de surface et leurs probabilités d'occurrence respectives. L'établissement du zonage réglementaire a, pour sa part, comme principal objectif de délimiter des zones à l'intérieur desquelles il est possible de définir des prescriptions et/ou des recommandations homogènes visant à mettre en sécurité les activités et biens existants et futurs présents en surface.

Le zonage réglementaire adopté pour le présent PPR s'appuie directement sur la configuration géologique des terrains et sur l'existence connue ou suspectée de vides. Le tableau n°3 indique les principes du zonage adopté.

Configuration géologique		Config. n°1	Config. n°2	Config. n°3 et n°4	Config. n°5	Config. n°6
Zones latérales		B0	B1	B3a	B2	B0
Zone centrale	Pas d'indices de vide			B3b		
	Indices de vides	R				

Tableau n°4 : Principe de détermination du zonage réglementaire.

En collaboration avec le service instructeur du PPR (DDE des Bouches du Rhône), un projet de règlement est en cours d'élaboration. Ce document spécifiera, pour chaque zone, les prescriptions ou recommandations de traitement ou de prévention à mettre en œuvre pour assurer la mise en sécurité des personnes et biens présents dans la zone.

Remerciements : Nous remercions tout particulièrement MM. SECOND et VALLAURI et leurs services (DDE et DRIRE des Bouches du Rhône) pour leur appui et leur collaboration dans la réalisation de cette étude.