



(ID Modèle = 454988)

Ineris - 181700 - 2549073 - v1.0

04/06/2021

Plan de Prévention des Risques de mouvements de terrain - Commune de Châtelleraut (86)

Note de synthèse n°2 : Investigations complémentaires
et caractérisation des aléas

DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES DE LA
VIENNE

PRÉAMBULE

Le présent document a été établi sur la base des informations transmises à l'Ineris. La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations fournies.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du présent document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La prestation ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser le document après cette date.

L'établissement du présent document et la prestation associée sont réalisés dans le cadre d'une obligation de moyens.

Au vu de la mission qui incombe à l'Ineris au titre de l'article R131-36 du Code de l'environnement, celui-ci n'est pas décideur. Ainsi, les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre de cette prestation ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur. Par conséquent la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du présent document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour toute utilisation du document en dehors de son objet.

En cas de contradiction entre les conditions générales de vente et les stipulations du présent préambule, les stipulations du présent préambule prévalent sur les stipulations des conditions générales de vente.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Sites et Territoires

Rédaction : DEGAS Marie -

Vérification : POULARD FREDERIC

Approbation : Document approuvé le 04/06/2021 par DAUPLEY XAVIER

Table des matières

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Contexte | 6 |
| 2 | Investigations complémentaires | 6 |
| 2.1 | Travail réalisé | 6 |
| 2.2 | Résultats | 7 |
| 2.2.1 | Cavité du Grenadier français | 7 |
| 2.2.2 | Cas de la grande carrière des Richarderies | 11 |
| 3 | Finalisation des cartes informatives | 13 |
| 3.1 | Cas de la carrière du Grenadier français | 13 |
| 3.2 | Cas de la grande carrière des Richarderies | 14 |
| 3.3 | Autres cavités | 14 |
| 3.3.1 | Petites cavités | 14 |
| 3.3.2 | Grandes carrières de la zone 2 | 15 |
| 3.4 | Autres éléments informatifs | 15 |
| 4 | Identification des aléas mouvements de terrain retenus et écartés | 16 |
| 4.1 | Rappel des premières analyses des éléments collectés en phase informative | 16 |
| 4.1.1 | Localisation des exploitations | 16 |
| 4.1.2 | Les types de cavités et d'ouvrages débouchant au jour rencontrés | 16 |
| 4.1.3 | Les phénomènes et mécanismes d'instabilité redoutés | 19 |
| 4.2 | Aléas mouvements de terrain retenus | 21 |
| 4.2.1 | Effondrement localisé | 21 |
| 4.2.2 | Tassement (sur travaux souterrains) | 22 |
| 4.2.3 | Écroulement rocheux (sur fronts sous-cavés) | 22 |
| 4.3 | Aléas écartés | 22 |
| 4.3.1 | Affaissement | 22 |
| 4.3.2 | Effondrement généralisé | 23 |
| 4.3.3 | Autres mouvements de terrain (liés aux travaux à ciel ouvert) | 23 |
| 5 | Phase d'évaluation des aléas | 23 |
| 5.1 | Principes d'évaluation des aléas | 23 |
| 5.2 | Évaluation de l'aléa effondrement localisé liés aux anciens puits | 24 |
| 5.2.1 | Description phénoménologique | 24 |
| 5.2.2 | Probabilité d'occurrence des effondrements localisés liés aux puits | 25 |
| 5.2.3 | Intensité des effondrements localisés liés aux puits | 25 |
| 5.2.4 | Niveaux d'aléa des effondrements localisés liés aux puits | 27 |
| 5.3 | Évaluation de l'aléa effondrement localisé sur travaux souterrains (galeries et carrière d'exploitation) | 27 |
| 5.3.1 | Description phénoménologique | 27 |
| 5.3.2 | Évaluation de la probabilité d'occurrence pour les effondrements localisés de type fontis (liés à la présence de carrières et de galeries) | 29 |
| 5.3.3 | Évaluation de l'intensité des effondrements localisés de type fontis (liés à la présence de carrières et de galeries) | 30 |
| 5.3.4 | Niveaux d'aléa effondrements localisés de type fontis (liés à la présence de carrières et de galeries) | 31 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4 | Aléa Écroulement rocheux (lié aux ruptures des fronts sous-cavés) | 31 |
| 5.4.1 | Description phénoménologique | 31 |
| 5.4.2 | Évaluation de la probabilité d'occurrence | 32 |
| 5.4.3 | Évaluation de l'intensité | 32 |
| 5.4.4 | Niveau d'aléa | 32 |
| 5.5 | Cartographie générale de l'aléa mouvement de terrain | 32 |
| 5.5.1 | Effondrements localisés liés aux puits | 33 |
| 5.5.2 | Effondrements localisés de types fontis sur galeries | 33 |
| 5.5.3 | Écroulement rocheux | 34 |
| 6 | Conclusions | 34 |
| 7 | Bibliographie et références | 36 |
| 8 | Annexes | 36 |

Liste des figures

| | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 | : Laser scanner 3D terrestre Faro | 7 |
| Figure 2 | : Mise en œuvre du laser scanner 3D mobile Zeb Revo | 7 |
| Figure 3 | : Emprise de la cavité du Grenadier français (à gauche : levé de 2016 par ELC ,à droite : levé de 2020 par l'Ineris)..... | 8 |
| Figure 4 | : Vue de l'intérieur de la carrière du Grenadier français et toit dégradé..... | 8 |
| Figure 5 | : Vue de l'intérieur de la carrière du Grenadier français..... | 9 |
| Figure 6 | : Vue de l'intérieur de la carrière du Grenadier français (à gauche, zone d'éboulis) | 9 |
| Figure 7 | : Dégradations au toit de la carrière du Grenadier français..... | 10 |
| Figure 8 | : Coupe nord-est - sud-ouest de la carrière sous l'habitation et sous la route | 10 |
| Figure 9 | : Coupe nord-sud de la carrière..... | 11 |
| Figure 10 | : Vue de l'intérieur de la grande carrière des Richarderies | 11 |
| Figure 11 | : Secteur nord de la grande carrière des Richarderies, présentant des signes de dégradation | 12 |
| Figure 12 | : Secteur nord de la grande carrière des Richarderies, présentant des signes de dégradation | 12 |
| Figure 13 | : Vue des remblais empêchant l'accès..... | 12 |
| Figure 14 | : Levé d'une partie du contour de la carrière des Richarderies (trait turquoise) (en orange, levé partiel réalisé par le BRGM)..... | 13 |
| Figure 15 | : Schéma du principe d'une exploitation par chambres et piliers abandonnés (dans un contexte d'exploitation moderne), Ineris..... | 17 |
| Figure 16 | : Entrée en cavage (source : Ineris) | 18 |
| Figure 17 | : Exemple d'exploitation par chambres et piliers abandonnés (source : Ineris) | 18 |
| Figure 18 | : Photos de cheminées d'aération (source : Ineris)..... | 18 |
| Figure 19 | : Les accès aux cavités d'extension limitée (source : Ineris)..... | 19 |
| Figure 20 | : Exemple d'une cavité d'extension limitée (source : Ineris)..... | 19 |
| Figure 21 | : Effondrement localisé ayant débouché au jour sous forme de fontis..... | 20 |
| Figure 22 | : Exemples de dégradation de toit..... | 20 |
| Figure 23 | : Exemples de dégradation de pilier | 21 |
| Figure 24 | : Représentation schématique d'un effondrement localisé lié à un puits remblayé | 25 |
| Figure 25 | : Cône d'effondrement localisé d'un puits | 26 |
| Figure 26 | : Classes d'intensité de l'effondrement localisé, [3] [5]..... | 26 |
| Figure 27 | : Représentation schématique d'un effondrement localisé par rupture de plusieurs piliers (source : Ineris)..... | 28 |
| Figure 28 | : Principe du fontis initié par une chute de toit..... | 28 |
| Figure 29 | : Principe de l'autocomblement de vides résiduels stoppant une montée de voûte | 30 |
| Figure 30 | : Représentation schématique de 2 configurations favorables à la survenue d'un écroulement rocheux sur des entrées en cavage, [9] | 32 |
| Figure 31 | : Cartographie de l'aléa effondrement localisé (en vert) lié à un puits | 33 |
| Figure 32 | : Zonage de l'aléa « écroulement rocheux » | 34 |

Résumé

Dans le cadre d'une politique de prévention, Madame la Préfète de la Vienne a prescrit, par arrêté préfectoral du 9 août 2018, l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles (PPRN) de mouvements de terrain relatifs aux phénomènes d'effondrements de cavités sur la commune de Châtelleraut. La réalisation des études techniques relatives à ce PPRN a été confiée à l'Ineris.

En accord avec la DDT86, la démarche pour l'élaboration du PPRN de Châtelleraut repose sur la réalisation des phases suivantes :

- phase informative ;
- phase d'investigations complémentaires ;
- phase de détermination et de cartographie des aléas ;
- phase de recensement des enjeux ;
- établissement de la carte réglementaire et d'un projet de règlement ;
- phase d'approbation de la carte réglementaire et du projet de règlement.

La présente note de synthèse n°2 est le livrable de la phase de définition et de cartographie des aléas, elle présente :

- d'une part, la finalisation de la phase informative suite à la réalisation d'investigations complémentaires ;
- d'autre part, la définition et la cartographie des aléas.

La phase d'évaluation des aléas a permis de définir des aléas effondrement localisé de niveaux faible à fort, ainsi qu'un aléa écoulement rocheux, sur les fronts rocheux sous-cavés, de niveau moyen en fonction des configurations de cavités recensées sur le territoire de la commune de Châtelleraut.

Pour citer ce document :

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, Plan de Prévention des Risques de mouvements de terrain - Commune de Châtelleraut (86), Verneuil-en-Halatte : Ineris - 181700 - 2549073 - v1.0, 04/06/2021.

Mots-clés :

Carrières souterraines, Mouvements de terrain, Inspection Géotechnique, Diagnostic de stabilité, Calcaire

Territoire

Châtelleraut, Vienne, Nouvelle Aquitaine, France

Latitude : 46.815176

Longitude : 0.536039

1 Contexte

Dans le cadre du marché passé par la DDT (Direction Départementale des Territoires) de la Vienne, l'Ineris est en charge des études techniques du Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles (PPRN) de mouvements de terrain relatifs aux phénomènes d'effondrements de cavités sur la commune de Châtelleraut prescrit en août 2018.

Dans ce cadre, des premières phases dites de phase informative ont été réalisées et deux rapports ont déjà été rédigés : rapports Ineris-181700-1969719 du 20/12/19, intitulé « Plan de Prévention des risques mouvements de terrain, commune de Châtelleraut (86), Phase 1 : Acquisition de la connaissance, Note de synthèse n°1 » et Ineris-181700-2128622 du 26 mars 2020, intitulé « Plan de Prévention des risques mouvements de terrain, commune de Châtelleraut (86), Phase 2 : Définition des besoins en investigations complémentaires ».

À l'issue de la phase informative, des besoins en investigations complémentaires ont été préconisés. Ces besoins reposent sur les levés au laser scanner 3D des contours de la carrière du Grenadier français et de la grande carrière de la Richarderie. Les levés ont pu être réalisés en juin 2020, permettant d'acquérir des données supplémentaires, de manière à compléter et finaliser les cartes informatives.

Suite à la finalisation des cartes informatives, l'analyse détaillée des aléas « mouvements de terrain » a pu être menée.

Le présent rapport établit dans une première partie, le bilan des investigations complémentaires, et présente les cartes informatives finalisées. Dans une deuxième partie, la définition et la cartographie des aléas mouvements de terrain relatifs aux phénomènes d'effondrements de cavités sont détaillées.

La présente note de synthèse n°2 est le livrable de la phase 3, phase de définition et de cartographie des aléas.

2 Investigations complémentaires

Remarque préalable : les informations suivantes complètent, sans les rappeler en détails, les éléments informatifs déjà compilés et synthétisés dans les rapports précédents [1], [2]. Le lecteur se réfèrera à ces deux rapports précédents et les compléments ci-après pour disposer de l'intégralité des éléments informatifs.

2.1 Travail réalisé

Les investigations complémentaires ont été réalisées sur site du 15 au 26 juin 2020, par une équipe de 3 personnes de l'Ineris.

La mission a consisté à réaliser les levés des cavités suivantes :

- Cavité du Grenadier français : levé au laser scanner 3 D de la totalité des zones accessibles de la cavité du Grenadier français, ainsi que de la surface pour disposer de la superposition précise en X, Y et Z avec la surface, en raison de la présence d'enjeux (route départementale) ;
- Cavité des Richarderies : repérage au fond des contours de la cavité et levé au laser scanner 3D d'une partie de ceux-ci, situés sur la bordure ouest depuis l'entrée des Richarderies, au nord, et jusqu'à l'entrée de Bobinière au sud.

Les levés ont été réalisés par l'utilisation conjointe du laser scanner terrestre Faro couplé avec le scanner mobile Géoslam Zeb Revo (figures suivantes).



Figure 1 : Laser scanner 3D terrestre Faro



Figure 2 : Mise en œuvre du laser scanner 3D mobile Zeb Revo

2.2 Résultats

2.2.1 Cavité du Grenadier français

Le levé complet de la cavité du Grenadier français a été réalisé à l'aide des deux laser scanners. Le levé des enjeux de la surface a permis de caler précisément l'emprise levée au fond avec les infrastructures de la surface et de diminuer l'incertitude de positionnement dans les 3 dimensions.

Ce nouveau levé a permis d'étendre considérablement la cavité levée par rapport au levé partiel existant de 2016 (ELC) (cf. Figure 3) [11].

L'emprise de la cavité levée s'étend sur environ 120 m de longueur et 20 à 30 mètres de largeur pour une surface totale estimée à 2600 m². La profondeur varie de 4 à 6 m.

Les galeries ont des largeurs de l'ordre de 4 m, pour des hauteurs de 2 à 2,5 m.

Lors de l'inspection en souterrain, nous avons pu constater que l'état géotechnique est globalement dégradé, avec plusieurs instabilités de bas-toit visibles (Figure 4 et Figure 7). À deux endroits, ces instabilités remontent sur plusieurs bancs de toit, pour former une montée de voûte. Nous avons pu constater que pour la bordure est, le front est formé de la masse rocheuse en place, permettant de

s'assurer que la carrière ne s'étend pas de ce côté. Cependant, la bordure ouest est constituée de zones d'éboulis ne permettant pas d'identifier la bordure de roche massive. De plus, aucune entrée ni puits d'accès n'ont été identifiés, laissant supposer que la cavité s'étendrait au-delà de la zone accessible (l'accès actuel se fait depuis un fontis ayant débouché au jour, l'accès historique devant se situer en un autre point, sans doute vers l'ouest).



Figure 3 : Emprise de la cavité du Grenadier français
(à gauche : levé de 2016 par ELC ,à droite : levé de 2020 par l'Ineris)



Figure 4 : Vue de l'intérieur de la carrière du Grenadier français et toit dégradé



Figure 5 : Vue de l'intérieur de la carrière du Grenadier français



Figure 6 : Vue de l'intérieur de la carrière du Grenadier français (à gauche, zone d'éboulis)



Figure 7 : Dégradations au toit de la carrière du Grenadier français

Sur la base de l'exploitation du nuage de points en 3D, nous avons pu extraire une coupe de la carrière relativement à la route. Nous pouvons constater que sous la route, la hauteur de recouvrement au-dessus de la carrière est de moins de 4 mètres. Sur le reste de la carrière, elle est de l'ordre de 5 mètres sur une grande partie de celle-ci, et un peu plus profonde dans sa partie nord, mais elle reste de l'ordre de 6 mètres tout au plus.

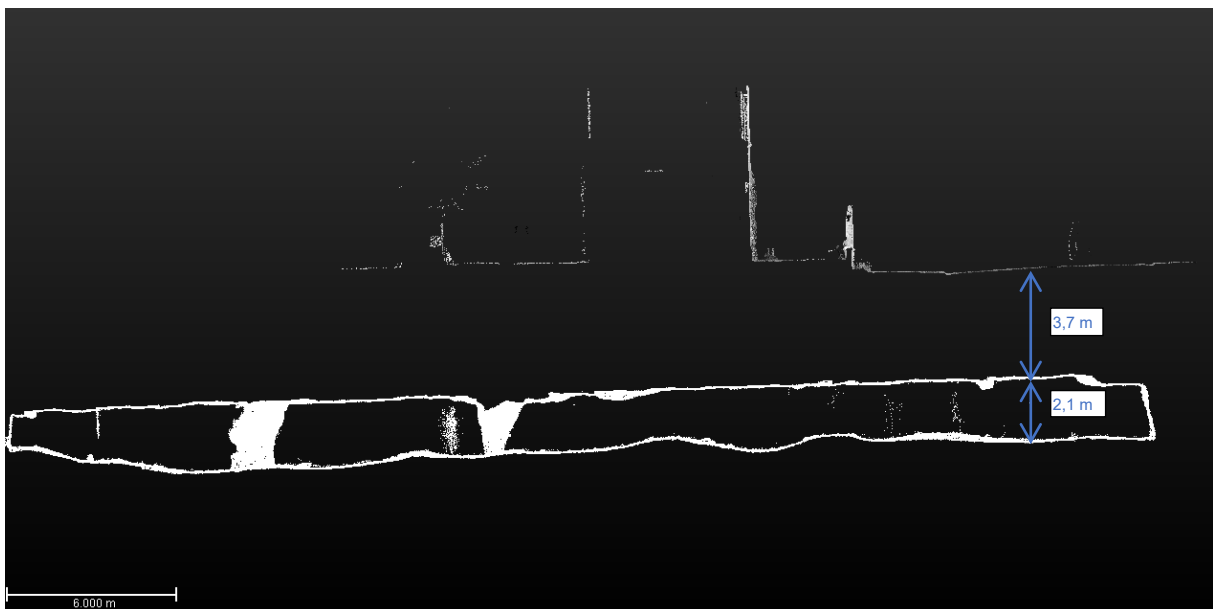


Figure 8 : Coupe nord-est - sud-ouest de la carrière sous l'habitation et sous la route



Figure9 : Coupe nord-sud de la carrière

2.2.2 Cas de la grande carrière des Richarderies

La plus grande partie du travail complémentaire de levé a concerné la carrière des Richarderies. Le levé a été réalisé à partir de l'entrée Fauconnerie, en deux temps :

- un levé vers le sud, jusqu'aux entrées Bobinière,
- un levé vers le nord, jusqu'au-delà de l'entrée Richarderie.

Pour ces levés, afin de parcourir le maximum de linéaire au fond, seuls les contours ont été levés, permettant de lever toute la bordure ouest de la carrière. Toutefois, la bordure est n'a pas pu être intégralement levée dans le cadre de cette étude.

Au total, environ 2 000 mètres de bordure ont été levés (Figure 14). La surface de la cavité est estimée à 43 ha (en première approche, elle avait été estimée à 150 ha, à l'issue de la première partie de la phase informative).

Lors du levé, nous avons généralement suivi le bord rocheux massif mais à certains endroits, des zones d'extension possibles ont été relevées. Il s'agit de galeries inaccessibles par la présence de remblai (Figure 13).

L'état géotechnique de la carrière est globalement correct : les piliers sont massifs sur une grande partie de la carrière, et le toit, malgré la présence de fissures, ne montre pas de signes d'instabilités évolutives. Toutefois au nord, dans les secteurs de la carrière proches de l'entrée des Richarderies, l'état est dégradé, les piliers sont plus petits et localement endommagés. Dans ce secteur, on a pu relever la présence de chute de toit potentiellement évolutive.

Remarque :

Un plan avait été fourni lors de la phase informative, mais le recalage de ce plan par rapport au levé scanner 3D, permet d'en conclure que le plan est partiel et déformé et il n'a pas été possible de l'utiliser.



Figure 10 : Vue de l'intérieur de la grande carrière des Richarderies



Figure 11 : Secteur nord de la grande carrière des Richarderies, présentant des signes de dégradation



Figure 12 : Secteur nord de la grande carrière des Richarderies, présentant des signes de dégradation



Figure 13 : Vue des remblais empêchant l'accès

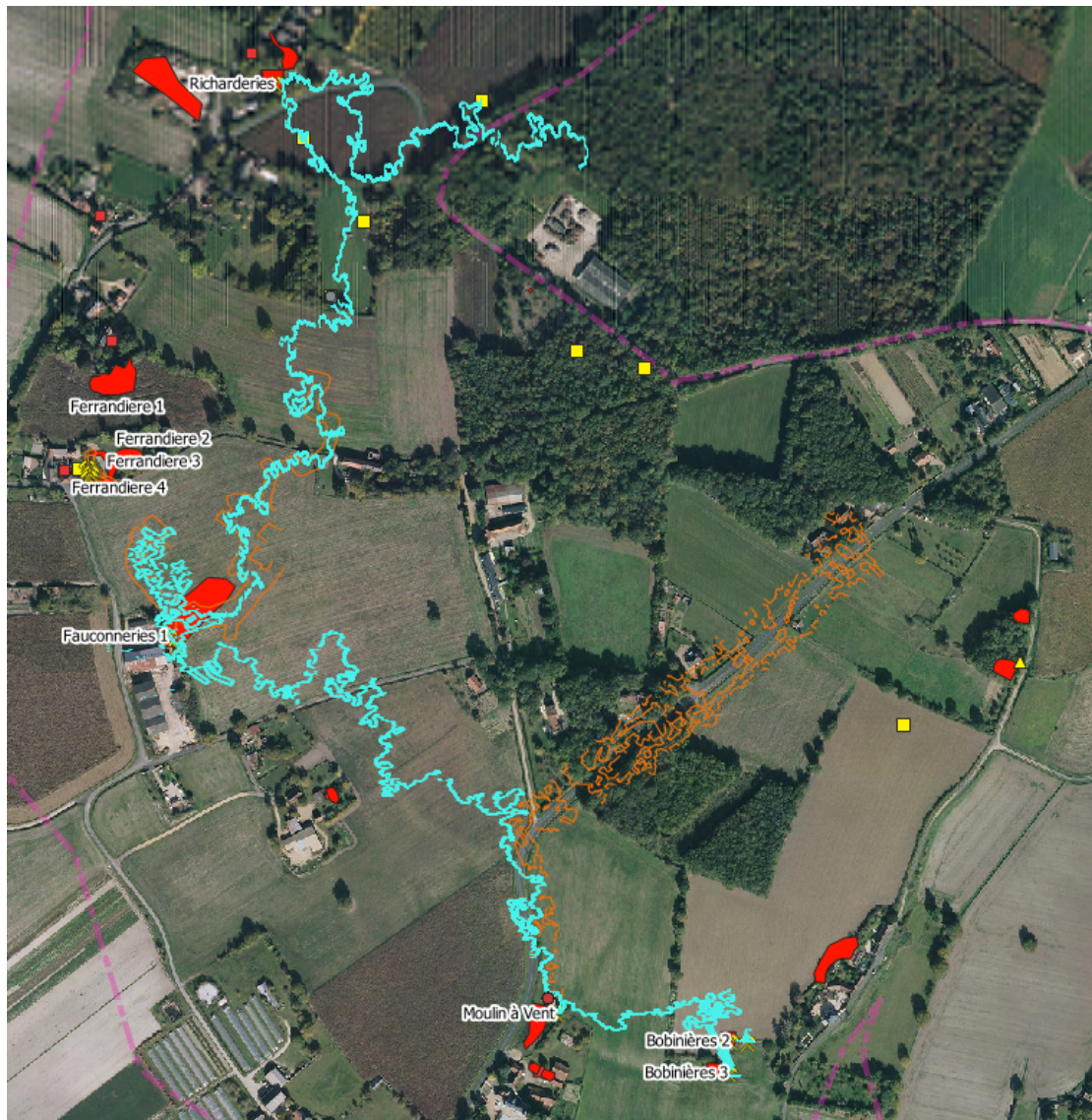


Figure 14 : Levé d'une partie du contour de la carrière des Richarderies (trait turquoise)
(en orange, levé partiel réalisé par le BRGM)

3 Finalisation des cartes informatives

L'ensemble des éléments explicités ci-après est reporté sur les cartes informatives mises à jour, placées en annexes 1 à 3 de ce rapport.

À partir des données collectées sur le terrain, des emprises de travaux ont été tracées autour des cavités, prenant en compte les incertitudes des levés, et les possibles zones d'extension de cavités non accessibles.

On recense trois types d'emprises cartographiques autour des zones de carrières et reportés sur les cartes informatives :

1. les travaux accessibles et levés, dessinés en trait plein jaune,
2. les travaux accessibles mais non levés, en trait orange,
3. les travaux non accessibles en trait pointillé jaune ;
4. les travaux supposés en hachures jaune.

3.1 Cas de la carrière du Grenadier français

Pour la carrière du Grenadier français, les emprises suivantes ont été tracées :

- autour de la zone levée au laser scanner 3D, une emprise de travaux accessibles et levés (en trait plein jaune) a été tracée en ajoutant l'incertitude. L'incertitude correspond à la précision du levé à laquelle on ajoute l'incertitude du support cartographique. Dans le cas présent, elle a été estimée à 1 m pour le levé au scanner 3D et 1 m pour le support BD Ortho. L'incertitude globale est donc de 2 mètres autour de l'emprise globale levée au scanner 3D ;
- pour la bordure ouest, il est estimé que la totalité de la cavité n'est pas accessible à cause de la présence de remblais et de zones effondrées. Une zone globale et forfaitaire de 10 mètres (correspondant à la largeur estimative de deux travées de carrière, soit deux largeurs de galeries et une largeur de pilier) (intégrant les incertitudes) a été tracée autour de la zone levée au laser scanner 3D, à l'ouest de la cavité). Cette zone est cartographiée comme une zone de travaux inaccessibles (trait pointillé jaune).

3.2 Cas de la grande carrière des Richarderies

Le levé du contour au scanner 3D n'a été réalisé que sur une partie de la carrière (environ la moitié). En complément, il a été choisi de mener une reconnaissance de l'ensemble des contours de la carrière, associée à un levé sommaire réalisé à l'aide d'un distancemètre et d'une boussole afin d'évaluer l'emprise totale de la carrière. Ce travail a permis de :

- vérifier que les trois puits relevés à la surface et visibles sur la Figure 14 ci-dessus débouchaient bien à l'intérieur de la cavité ;
- tracer grossièrement les contours des zones accessibles.

À partir de ces différents éléments, il a été choisi de tracer les emprises suivantes :

- une zone de travaux accessibles et levés autour du levé au laser scanner 3D (zone en trait continu jaune), à laquelle une marge d'incertitude a été ajoutée (estimée à 2 m comme précédemment). Pour les contours tracés sommairement à partir du levé à la main (boussole et lasermètres), une incertitude globale de 10 à 30 mètres a été tracée en fonction de la situation (proximité du levé au scanner laser 3D, proximité de puits...), la zone correspondant restant en type « travaux accessibles et levés » (zone en trait continu jaune) ;
- une zone de travaux accessibles et non levés (trait orange) : une zone de la grande carrière des Richarderies n'a pas pu être levée au fond, à cause de la présence d'eau. Pour cette zone, une mesure au lasermètre a permis d'évaluer grossièrement l'étendue au-delà de la zone accessible, elle s'étend sur environ 80 mètres au-delà de la zone levée. Cette emprise étant globalisante, aucune incertitude complémentaire n'a été ajoutée ;
- des zones de travaux non accessibles (trait pointillé jaune) : à proximité des limites du levé au scanner laser 3D correspondant à des zones inaccessibles à cause de la présence de remblais. Pour ces zones, une zone globale et forfaitaire de 10 mètres (intégrant les incertitudes) a été tracée autour de la zone levée au laser scanner 3D ;
- une zone de travaux supposés, dans le prolongement du levé réalisé par le BRGM en 2013. En effet, dans son rapport le BRGM spécifie que le levé a été réalisé dans l'emprise de la carrière au droit de la route départementale RD21. Toutefois des départs de galerie bordent le secteur, et nous n'avons pas d'information précise sur l'emplacement et l'extension exacts des travaux. Sans information suffisante, il a été décidé de tracer une emprise de travaux supposés dans ce secteur.

3.3 Autres cavités

À l'issue de la phase informative deux types de carrières avaient été définis, les petites cavités d'une part et les grandes cavités d'autre part, [1].

3.3.1 Petites cavités

Certaines de ces cavités ont fait l'objet d'un levé, soit manuel par nos soins en phase informative (Martin-Chapon, Targé, Bobinière 1 et Bobinière 2), soit par le BRGM dans le cadre d'une étude spécifique (Ferrandière) [10]. Pour ces galeries, une emprise de travaux a été tracée en ajoutant une incertitude de 5 mètres (comprenant l'incertitude de levé manuel et du fond cartographique).

Pour la galerie de Targé, une emprise de travaux inaccessibles de 10 mètres a été tracée à partir de la galerie remblayée. Cette valeur est approximative car on ne connaît ni l'étendue ni la direction de la galerie.

Pour les cavités des hautes Richarderies 1 et 2, en accord avec la DDT, il a été décidé de ne pas réaliser de levé au scanner 3D pour ces cavités peu étendues. Toutefois, à partir des observations de terrain, parfois couplées avec quelques mesures au distancemètre, il a été possible de tracer une emprise globale de l'étendue estimée des travaux. Cette emprise a été tracée comme zone accessible non levée, donc en trait orange. Il n'a pas été ajouté d'incertitude à ce zonage déjà globalisant.

Pour les cavités Marottes et Pain chaud, les entrées ont pu être aperçues mais nous n'avons pas pu rentrer dans la propriété car malgré plusieurs passages, le propriétaire n'était pas présent. Une emprise de travaux avérés mais non levés a été tracée à partir des indices napoléoniens, en ajoutant l'incertitude de calage du plan.

Pour les indices de caves relevés sur les cadastres napoléoniens, dont la présence n'a pas pu être confirmée lors de l'enquête de terrain de la phase informative, des emprises de travaux supposés ont été tracées en intégrant l'incertitude liée au calage du plan. Elle est estimée de 5 à 10 mètres en fonction des plans, et de la précision du calage.

3.3.2 Grandes carrières de la zone 2

Il s'agit des carrières du Portail rouge, de la Tour Girard et de la Chapelle qui ont été levées par la société ELC [11]. Pour ces carrières, une emprise a été tracée autour des carrières, selon les deux critères suivants :

- a) Lorsque le levé a pu se faire en bordure de carrière, une emprise de travaux avérés et levés (zone en trait continu jaune) a été tracée avec une incertitude globale de 3 m (incertitude de levé + incertitude de fond cartographique), évaluée d'après le fonds BD Ortho et la précision estimée du levé d'ELC.
- b) Pour les zones où la bordure n'a pas pu être levée, par la présence de zones inaccessibles à cause de remblais, d'eau et d'effondrement. Pour ces zones, une emprise de travaux non accessibles a été tracée en trait pointillé jaune, englobant la zone supposée tracée par ELC. Cette emprise étant globalisante, aucune incertitude complémentaire n'a été ajoutée.

Cas particulier de la carrière de la Chapelle

La carrière de la Chapelle n'a été levée que partiellement par ELC. En effet, le levé est précis pour la moitié nord de la carrière. Cependant, la partie sud de la carrière n'a pas été levée, et le tracé de la carrière s'arrête au milieu de la carrière.

Pour la partie nord, une emprise de travaux avérés et levés (zone en trait continu jaune) et une emprise de travaux non accessibles (zone en trait pointillé jaune) ont été tracées selon les mêmes règles que pour les carrières de la Tour Girard et de la Chapelle.

Pour la bordure sud, un contour approximatif a été tracé suite à la visite de la carrière au cours de laquelle il a pu être reconnu que les puits étaient bien situés dans la carrière. Une emprise estimative et globalisante de travaux accessibles non levés a été tracée en trait orange.

3.4 Autres éléments informatifs

D'autres éléments informatifs sont également reportés sur la carte informative ;

- les ouvrages débouchant au jour, tels que les puits et les cheminées, ainsi que les entrées de galeries. Ils proviennent de plusieurs sources d'informations, soit du levé de l'Ineris en phase informative, soit du levé ELC [11], soit de la note d'enjeux de la DDT (dont la source est le plus souvent les cadastres napoléoniens, mais peut être également des témoignages) [12]. Les puits et cheminées peuvent avoir plusieurs origines, soit il s'agit d'ouvrages d'aération de cavités souterraines, soit de puits à eau. Pour un certain nombre d'entre eux, issus du cadastre napoléonien, l'origine est indéterminée ;
- les indices de travaux liés à d'anciennes exploitations à ciel ouvert, issues soit de la note d'enjeux de la DDT, soit des inspections de terrain.

4 Identification des aléas mouvements de terrain retenus et écartés

Les informations synthétisées lors de la phase informative permettent d'identifier les différents aléas qui sont retenus comme pertinents pour la deuxième phase de l'étude qui est l'analyse détaillée des aléas et ceux qui peuvent être raisonnablement écartés. Les aléas retenus seront par la suite évalués selon les principes du guide méthodologique « Plan de prévention des risques naturels, Cavités souterraines abandonnées- Documentation française – 2012 » [3].

4.1 Rappel des premières analyses des éléments collectés en phase informative

Les éléments ci-après ont déjà été détaillés dans le rapport de synthèse n°1 [1], mais sont rappelés car ce sont des données importantes pour la phase d'évaluation des aléas qui suit.

4.1.1 Localisation des exploitations

L'analyse de la géologie et de la topographique laisse clairement apparaître que les cavités sont présentes uniquement dans les zones de coteaux, situés à l'est de Châtellerault, où affleure la formation du turonien moyen, qui a été exploitée pour la pierre à bâtir.

Localement, sur le bas des coteaux, on trouve des traces d'exploitation à ciel ouvert, dans des formations plus meubles (alluvions).

4.1.2 Les types de cavités et d'ouvrages débouchant au jour rencontrés

Deux types de configurations de cavités ont été rencontrées au cours de l'étude :

- 1) les grandes carrières d'exploitation (au nombre de 4, carrière des Richarderies, carrière du Portail rouge, carrière de la Tour Girard, carrière de la Chapelle), qui s'étendent sur plusieurs hectares voire plusieurs dizaines d'hectares. Il s'agit d'anciennes carrières exploitées par la méthode des chambres et piliers abandonnés, c'est-à-dire que lors de l'exploitation, la roche a été extraite en laissant des piliers de roche en place de manière à stabiliser le toit (Figure 15). À la fin de l'exploitation, les chambres ont été laissées vides et présentent des volumes de vides résiduels très importants (Figure 17). La profondeur de ces cavités n'est que rarement connue mais elles sont peu profondes (bien souvent leur profondeur est inférieure à 20 mètres, voire même inférieure à quelques mètres et n'excèdent jamais 30 mètres). Les chambres ont des dimensions de l'ordre de 5 mètres et des hauteurs moyennes de 2 à 2,5 mètres. Les schémas d'exploitation sont irréguliers et hétérogènes : les piliers et les chambres présentent des sections de différentes formes et section ; l'exploitation ancienne était menée au gré de la qualité de la roche et des contraintes d'exploitation. Ces carrières étaient entretenues jusqu'au début des années 2000, pour leur utilisation en champignonnière, elles sont aujourd'hui totalement abandonnées. Leurs entrées sont en cavage, à flanc de coteau (Figure 16). On trouve, associées à ces cavités, de nombreuses cheminées d'aération (Figure 18) ;
- 2) les petites cavités d'extension limitée, très peu profondes. Il s'agit de cavités de forme rectangulaire, plus ou moins régulières, qui s'apparentent pour certaines à des constructions troglodytes, et, pour d'autres, à des caves. Leur accès se fait en cavage, de dimensions variables (de l'ordre de 2 à 3 m de hauteur) et de 1 à 3 mètres de largeur, ou par un escalier permettant de descendre en souterrain (Figure 19). Les dimensions des cavités sont pour la plupart limitées, de l'ordre d'une dizaine de mètres tout au plus, et de quelques mètres de largeur. Elles sont bien souvent encore utilisées comme caves de stockage (Figure 20). Leur profondeur est de quelques mètres, en général de 5 mètres au maximum. Seule la cavité du Grenadier français se différencie car elle s'étend sur une plus grande surface et est légèrement plus profonde dans sa partie nord.

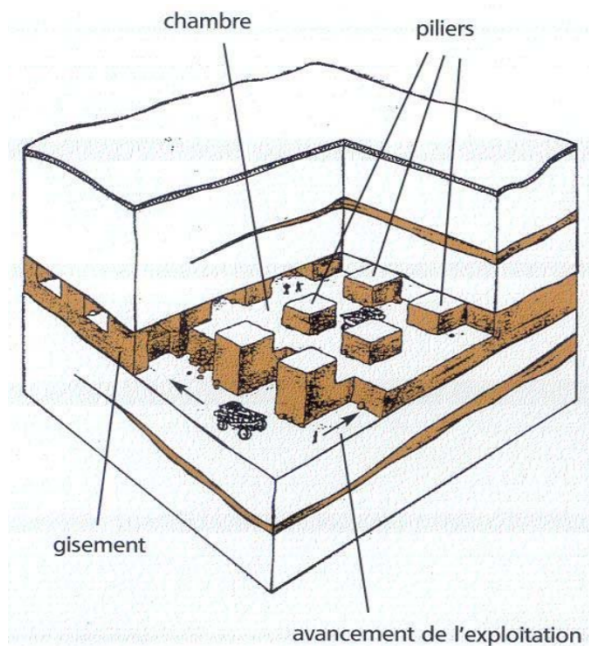


Figure 15 : Schéma du principe d'une exploitation par chambres et piliers abandonnés (dans un contexte d'exploitation moderne), Ineris

Des ouvrages débouchant au jour liés à la présence de cavités souterraines (les puits à eau sont par nature exclus de la présente analyse d'aléa) ont été identifiés en phase informative. Ils sont de deux sortes :

- les entrées en cavage, au nombre de 28 ;
- les puits et cheminées, au nombre de 37, retenus comme étant liés à la présence de cavités souterraines.

Remarques :

Au cours de la phase informative des puits ont été recensés d'après le cadastre napoléonien, dont l'usage n'est pas déterminé (puits à eau ou cheminées de ventilation de carrières). Toutefois, aucun de ceux-ci n'a pu être identifié comme étant lié à la présence de carrière souterraine connue par ailleurs (proximité avec un puits de carrière connu ou localisation dans une emprise de carrière). Nous ne considérerons pas par la suite ces ouvrages dans l'étude des aléas liés aux cavités.

La présence d'anciennes carrières à ciel ouvert et indices indéterminés a également été relevée sur les cadastres napoléoniens et enquêtes informatives. Ces exploitations ne font pas partie du périmètre de l'étude et ne seront pas considérés dans la suite de l'évaluation des aléas.

Pour certains indices d'exploitation, leur existence n'a pu être avérée, ni leur origine déterminée précisément, par manque d'informations, ces indices ont été exclus de l'analyse des aléas.



Figure 16 : Entrée en cavage (source : Ineris)



Figure 17 : Exemple d'exploitation par chambres et piliers abandonnés (source : Ineris)



Figure 18 : Photos de cheminées d'aération (source : Ineris)



Figure 19 : Les accès aux cavités d'extension limitée (source : Ineris)



Figure 20 : Exemple d'une cavité d'extension limitée (source : Ineris)

4.1.3 Les phénomènes et mécanismes d'instabilité redoutés

4.1.3.1 Rex des désordres observés

Les désordres de surface recensés sur la zone d'étude sont de plusieurs sortes :

- l'effondrement localisé ou fontis, débouchant en surface en créant un cratère quasi-circulaire. Ces désordres présentent des surfaces de quelques m², avec une profondeur de quelques mètres. Ce type de désordre survient de façon soudaine, sans indice précurseur visible en surface. Ces désordres sont provoqués par la rupture d'une cavité (toit ou pilier isolé). Le débouillage et la rupture des têtes d'anciens puits, plus ou moins bien mis en sécurité à la fermeture des exploitations, peuvent également conduire à des phénomènes d'effondrement localisés. Plusieurs cheminées ou puits ont été recensés sur le périmètre d'étude, un des désordres circulaires de petits diamètres pourrait être dû à une instabilité sur puits ou cheminées ;
- des tassements et affaissements de dimensions variables ont été relevés, de quelques m² à plusieurs dizaines de m² de surface. La profondeur est généralement centimétrique à décimétrique. Ce type de mouvement pourrait laisser supposer à la rupture de cavité qui ne remonte pas jusqu'en surface. Ils sont bien souvent détectables en zone urbaine uniquement car de nature différentielle, ils génèrent l'apparition de fissures sur les constructions, et restent peu discernables en zone non urbanisée.



Figure 21 : Effondrement localisé ayant débouché au jour sous forme de fontis

Ces types de phénomènes seront donc préférentiellement retenus et analysés pour l'évaluation des aléas.

D'autres phénomènes (effondrement généralisé notamment), non recensés sur le périmètre d'étude mais théoriquement possibles au droit des carrières souterraines abandonnées comme celles étudiées ici, seront également inclus dans l'évaluation ultérieure des aléas.

4.1.3.2 Dégradations constatées au sein des cavités souterraines

Lors des visites en souterrain, deux mécanismes de dégradation ont pu être constatés. Ces mécanismes caractérisent la rupture de l'ouvrage par vieillissement sous la charge des terrains de recouvrement s'exerçant sur celui-ci :

- la dégradation du toit de la cavité (Figure 22) : ces dégradations se manifestent par l'apparition au toit de fractures mécaniques ; elles peuvent provoquer la chute des bancs de toit de la cavité. En l'absence de banc suffisamment compétent pour stopper la remontée des chutes de toit et en présence d'un volume de vides suffisant pour éviter tout autocomblement, le phénomène peut déboucher en surface sous la forme d'un fontis ;
- la dégradation des piliers (Figure 23) : ces dégradations se manifestent par l'apparition de fissures mécaniques sur les piliers et dans son stade extrême, elles peuvent provoquer la rupture totale du pilier. Cette rupture locale peut conduire, selon les mêmes principes que précédemment, à l'apparition d'un effondrement localisé



Figure 22 : Exemples de dégradation de toit



Figure 23 : Exemples de dégradation de pilier

4.2 Aléas mouvements de terrain retenus

4.2.1 Effondrement localisé

Un effondrement localisé se caractérise par l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont l'extension horizontale varie de quelques mètres à une dizaine de mètres. Généralement, il est classique de distinguer, selon les mécanismes initiateurs :

- l'effondrement localisé consécutif au débouillage d'un puits ou à la rupture de sa tête ;
- l'effondrement localisé relatif aux galeries (par éboulement de toit ou d'une voûte de galerie) ;
- l'effondrement localisé relatif aux zones d'exploitation (par rupture locale d'un ou deux pilier(s) isolé(s), par rupture du toit des chambres exploitées dans les zones d'exploitation partielle).

La phase informative a montré que les puits visibles ne présentent pas de mise en sécurité pérenne, la plupart sont vides, quelquefois recouvert d'une buse de béton. Le traitement pérenne de ces ouvrages ne peut pas être assuré ; le phénomène d'effondrement localisé sur ces ouvrages doit donc être pris en compte.

Dans le secteur de Châtellerault, les exploitations souterraines ont été menées par chambres et piliers abandonnés, laissant subsister des volumes importants de vides à faible profondeur. Le vieillissement des ouvrages souterrains entraîne la dégradation progressive de la roche sous le poids des terrains, parfois accélérée par la présence de facteurs tels que la présence de l'eau par infiltration ou par remontée de nappe.

Il existe également des petites cavités isolées qui s'apparente à des galeries, de type galeries filantes peu profondes, ayant servi à l'extraction de la pierre, et laissées vides en fin d'exploitation. Elles peuvent être le siège d'une dégradation, initiée au toit de ces vides, celle-ci pourrait évoluer vers la surface sous forme d'effondrement localisé.

Quelques désordres de type effondrement localisés ont été identifiés en phase informative.

Sur la base de ces éléments, l'aléa effondrement localisé est considéré comme l'aléa de référence sur le secteur d'étude. Une analyse plus fine des mécanismes potentiels d'effondrement localisés doit être entreprise au droit des puits et de tous les types de cavités (grandes carrières et cavités isolées).

Il a été décidé de ne pas retenir les puits à eau, car ils ne sont pas concernés par l'étude.

4.2.2 Tassement (sur travaux souterrains)

Il peut être envisagé que des travaux situés à faible profondeur soient susceptibles d'entraîner des tassements perceptibles en surface, sous l'effet de surcharges ou de modification des conditions hydriques :

- par recompaction des terrains au droit de zones remblayées peu profondes ;
- par suite d'un phénomène de fontis autofoisonné.

Ces phénomènes apparaissent difficiles à détailler vis-à-vis de l'aléa prédominant d'effondrement localisé. En effet, ces aléas concernent les mêmes secteurs d'exploitation et s'expliquent par des mécanismes initiateurs très proches. Des phénomènes de tassements seront donc possibles au droit des « mêmes » zones de travaux et des puits que ceux concernés par les effondrements localisés. Les conséquences en surface s'apparenteront très certainement à des mouvements verticaux de faible ampleur évidemment « englobés » par les effondrements localisés également possibles sur ces zones. Ainsi, il a été convenu de ne pas détailler l'étude des tassements sur les travaux souterrains et les ouvrages remblayés (l'analyse et la cartographie des effondrements localisés étant suffisantes).

4.2.3 Écroulement rocheux (sur fronts sous-cavés)

Certains fronts rocheux situés à l'aplomb des entrées de carrières, ont une hauteur de quelques mètres et révèlent la présence de fissures mécaniques. Ces fronts sont susceptibles de s'écrouler consécutivement à l'effondrement de l'entrée de la carrière les sous-cavant. Ce pourrait être le cas en particulier des petites carrières des Ferrandières et des Marottes. Ces écroulements entraîneraient des chutes de blocs de volume plus ou moins important, se répandant devant l'entrée.

Cet aléa est retenu comme aléa à évaluer pour la suite de l'étude.

4.3 Aléas écartés

4.3.1 Affaissement

L'affaissement se manifeste par un réajustement des terrains de surface induit par l'éboulement de cavités souterraines laissées vides après l'exploitation. Les désordres, dont le caractère est généralement lent, progressif et souple, prennent la forme en surface d'une dépression topographique qui présente une allure de cuvette, sans rupture cassante importante (des fractures ouvertes sont possibles dans la zone en extension, située sur la bordure de l'affaissement).

Un affaissement peut être provoqué et faire partie de la méthode d'exploitation (foudroyage des terrains au droit de taille ou tassement des remblais dans les exploitations où le minerai a été enlevé totalement) mais il peut également survenir de manière accidentelle en cas de rupture d'ouvrages souterrains au sein d'exploitations partielles (piliers dans le cas d'exploitation par de chambres et piliers abandonnés notamment).

Plutôt caractéristiques des exploitations minières, ce type de manifestation concerne bien souvent des exploitations profondes, en plateaux ou pentées, présentant des ratios largeur/profondeur importants et des vides résiduels importants.

L'amplitude maximale de l'affaissement est directement proportionnelle à l'ouverture des travaux souterrains. Le coefficient de proportionnalité dépend notamment de la profondeur des travaux, de la méthode d'exploitation (défruitement) et de traitement des vides (foudroyage ou remblayage). Dans la majorité des cas, les amplitudes maximales observées sont d'ordre décimétrique à métrique.

Dans le cas présent, les carrières d'exploitations souterraines étudiées, certes non remblayées, sont peu profondes (de l'ordre de 20 mètres en moyenne). Ce facteur est limitant vis-à-vis de la rupture consécutive de piliers (par report de charge via le recouvrement) et de la mise place d'un mécanisme lent et progressif permettant au terrain de recouvrement de se déformer de manière souple en reposant sur les terrains effondrés. Dans cette configuration, une rupture de pilier se traduira préférentiellement en montée de voute de type fontis.

Sur la base de ces éléments et compte-tenu de la morphologie des cavités, l'aléa affaissement peut être écarté pour le secteur de Châtellerault.

4.3.2 Effondrement généralisé

Un effondrement généralisé correspond à la rupture de tout ou partie d'une exploitation partielle souterraine conduisant à un abaissement brutal de la surface qui se traduit par une rupture franche des terrains. On parle d'effondrement en masse ou généralisé lorsqu'il concerne une zone étendue en surface (plusieurs dizaines de mètres d'extension).

Les deux principaux critères de réalisation d'effondrements généralisés sont :

- l'existence d'une zone de chambres et piliers abandonnés et sous-dimensionnés présentant une relative homogénéité dimensionnelle (longueur, largeur et forme des piliers) ;
- l'existence, dans le recouvrement des travaux, d'un banc suffisamment résistant capable de supporter, au moins temporairement, les contraintes et la mise en charge générées par les piliers sous-dimensionnés puis de se rompre brutalement et soudainement.

Dans le cas des travaux souterrains de Châtelleraut, aucun désordre de ce type n'a été relevé lors de la phase informative. Des effondrements concernant des secteurs de plusieurs dizaines de mètres carrés de surface ont été observés en souterrain, probablement apparus lors de l'exploitation. Toutefois, en surface, il n'y a pas de signe d'effondrement de grandes dimensions (phénomène d'auto-foisonnement¹ des terrains ou terrassement / remaniement des terrains).

De plus, les secteurs ne présentent pas des schémas d'exploitation réguliers et homogènes, les piliers présentent des sections hétérogènes et irrégulières. En outre, aucune donnée n'atteste de la présence d'un banc raide et résistant dans le recouvrement.

Dans ce contexte, nous écartons le risque d'effondrement généralisé, on privilégiera le phénomène d'effondrement localisé pouvant affectés plusieurs piliers et sur des secteurs de surface de plusieurs dizaine de mètres carrés.

4.3.3 Autres mouvements de terrain (liés aux travaux à ciel ouvert)

Pour rappel : des travaux à ciel ouvert en carrière ont été recensés sur le périmètre d'étude. Les aléas potentiels associés à ces configurations, que sont les tassements (sur les carrières à ciel ouvert remblayées), les glissements ou les écroulements, ne sont pas visés par le PPRN prescrit relativement aux mouvements de terrains lié aux cavités souterraines. Ces aléas sont exclus de l'analyse suivante.

5 Phase d'évaluation des aléas

Les aléas retenus sont évalués selon les principes en vigueur et définis dans les guides méthodologiques cités dans le paragraphe 7.

La phase d'évaluation des aléas a pour objectif de délimiter et de hiérarchiser, en plusieurs niveaux, les zones exposées à des phénomènes potentiels de type mouvements de terrain, 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 nuisance que les cavités sont susceptibles d'engendrer, à terme, dans le secteur d'étude.

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.

5.1 Principes d'évaluation des aléas

L'approche permettant de qualifier les aléas consiste souvent à :

- découper le secteur d'étude en configurations d'ouvrages « homogènes ». Ce découpage peut être géographique, géomorphologiques ou géologique mais il est plus souvent réalisé sur la base des critères d'exploitation (déterminés d'après les plans d'exploitation ou la connaissance des sites) et

¹ Capacité des terrains déconsolidés à occuper un volume plus important que lorsqu'il est en place.

de paramètres géométriques. Il s'agit de définir des zones ou des objets (ouvrages ou travaux) dont le comportement vis-à-vis de chacun des phénomènes redoutés sera similaire ou très proche ;

- évaluer, zone homogène par zone homogène, le niveau d'aléa généré par chaque type de phénomène redouté. L'aléa correspond à la probabilité qu'un phénomène donné se produise, au cours d'une période de référence, en atteignant une intensité qualifiable ou quantifiable. La caractérisation du niveau d'aléa repose donc sur le croisement de l'intensité prévisible du phénomène avec sa probabilité d'occurrence (Tableau 1).

Dans ce principe de tableaux croisés, où l'expert combine des valeurs qualitatives et quantitatives, une matrice de synthèse simplifiée est généralement proposée dans une optique didactique. Enfin, pour ne pas compliquer inutilement les analyses et leur valorisation en vue du zonage réglementaire, les classes d'aléas sont souvent limitées à 3 niveaux : faible, moyen et fort.

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.

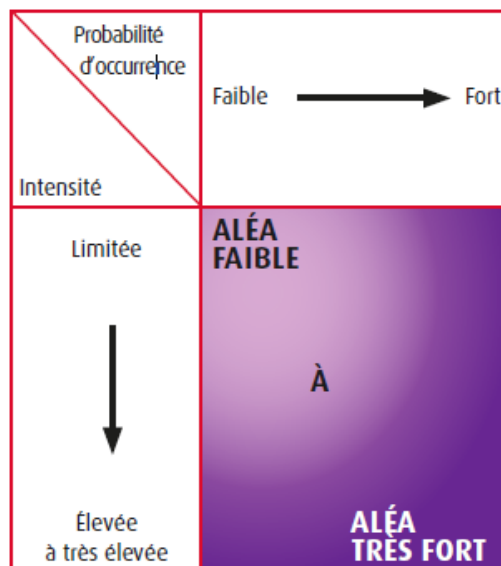


Tableau 1 : Définition du niveau d'aléa, croisement intensité/probabilité d'occurrence, source [3] [5]

Dans les paragraphes suivants cette analyse sera menée pour les aléas et les mécanismes retenus comme pertinents (voir paragraphe précédent).

5.2 Évaluation de l'aléa effondrement localisé liés aux anciens puits

5.2.1 Description phénoménologique

Plusieurs puits et cheminées ont été observés lors de la phase informative. La plupart sont ouverts, sans mise en sécurité pérenne.

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 prédisposition 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 prédisposition du puits à subir un débouillage.

Remarque : la remontée des eaux ou le battement de la nappe étant la phase la plus critique pour le débouillage des puits, un puits remblayé sera considéré comme plus sensible si le niveau d'eau n'est pas stabilisé. Sur l'ensemble du secteur étudié ici, la situation hydrogéologique est considérée comme actuellement stabilisée et aucun signe de noyage de puits n'a été constaté, ce facteur n'influencera pas l'évaluation de l'aléa.

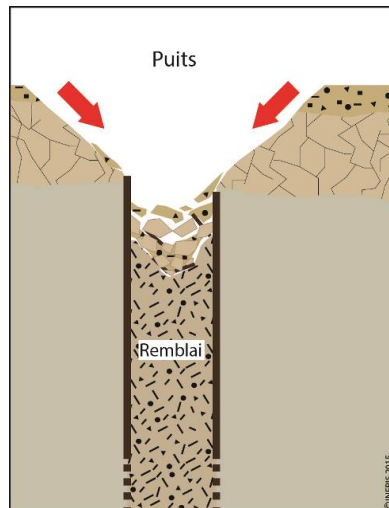


Figure 24 : Représentation schématique d'un effondrement localisé lié à un puits remblayé

5.2.2 Probabilité d'occurrence des effondrements localisés liés aux puits

La probabilité d'occurrence des puits à la rupture s'évalue en deux temps : celle relative au phénomène de débouillage d'éventuels remblais et celle relative à la rupture de la tête du puits.

Parmi les puits retrouvés sur le terrain, tous ont été vus vides, mais sont sécurisés en surface par une maçonnerie ou une buse béton. Ils sont de faible profondeur (20 mètres au maximum). Les autres puits recensés mais non vus peuvent être supposés remblayés ou non et de même gamme de profondeur.

Notons enfin que, lors de la phase informative, aucun désordre n'a été identifié au droit d'un puits.

À l'aide de ces informations et notamment la profondeur limitée des puits, la prédisposition à la rupture de la tête de puits est évaluée comme faible, celle au débouillage est quant à elle nulle pour les ouvrages vides et faible pour les ouvrages remblayés.

On retiendra donc une probabilité d'occurrence d'effondrements localisés liés aux puits comme étant tout au plus faible sur l'ensemble des puits recensés.

5.2.3 Intensité des effondrements localisés liés aux puits

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 pour évaluer l'intensité.

Dans le cas d'un effondrement localisé lié à un puits, l'intensité est caractérisée par les dimensions du cône susceptible de se former en surface autour du puits sujet à l'effondrement (Figure 25).

La marge de reculement (Rs) théorique du cône d'effondrement se caractérise en surface par la distance entre l'axe du puits et la limite de la zone pouvant être affectée par l'instabilité. Rs, dépend du

rayon du puits, de l'épaisseur et de la nature des terrains peu cohésifs de surface, et peut être approchée par la formule suivante² (Figure 25) :

$$R_s = r_p + h_c \times \cotan(\alpha),$$

avec r_p le rayon du puits, h_c l'épaisseur des terrains déconsolidés de subsurface et α l'angle de talus naturels des terrains de subsurface.

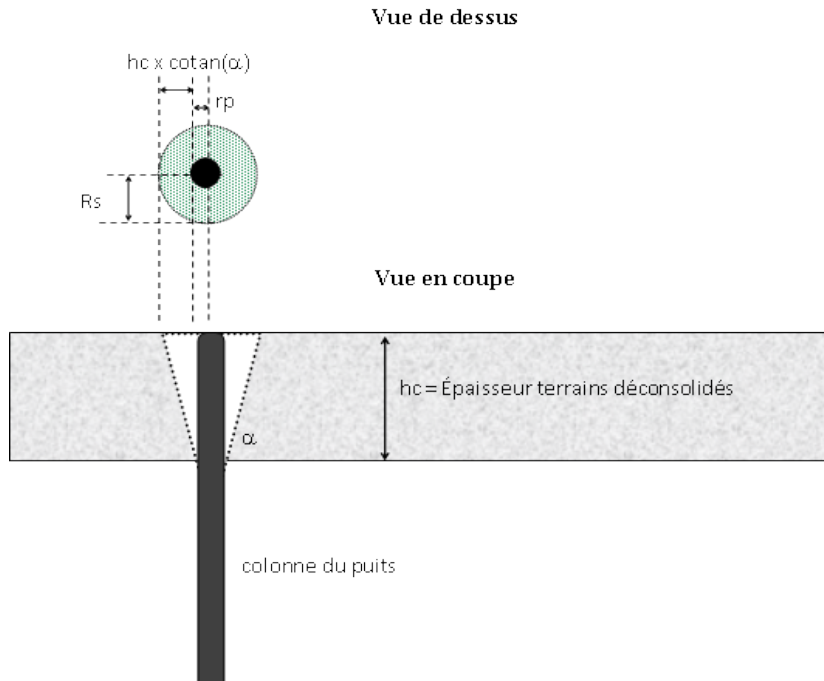


Figure 25 : Cône d'effondrement localisé d'un puits

Ainsi, en considérant un diamètre des puits de l'ordre de 1 mètre et une épaisseur de terrain de subsurface métrique au droit des ouvrages débouchant au jour recensés, la valeur théorique des diamètres des effondrements localisés sur puits est de l'ordre de 3 mètres. L'intensité est donc définie comme étant limitée.

| 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 | $\emptyset > 10 \text{ m}$ |

Figure 26 : Classes d'intensité de l'effondrement localisé, [3] [5]

Remarques :

² L'évasement du cône d'effondrement est mesuré à l'extérieur de la colonne du puits et à la base des terrains déconsolidés de subsurface. L'approche visant à intégrer un rayon plastique en plus du rayon du puits pour mesurer la base du cône d'effondrement n'est pas applicable ici faute de données précises sur la nature détaillée des terrains de recouvrement.

L'intensité évaluée ici correspond à l'ouverture de l'effondrement localisé à l'instant initial du phénomène et non à sa stabilisation à long terme.

5.2.4 Niveaux d'aléa des effondrements localisés liés aux puits

Les niveaux d'aléas sont obtenus par croisement des niveaux de prédisposition et d'intensité (Tableau 2 suivant).

| Puits | Probabilité d'occurrence aux effondrements localisés | Intensité des effondrements localisés | Niveau d'aléa |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| Tous les puits et cheminées recensés (hors puits à eau et puits napoléoniens) | Faible | Limitée | Faible |

Tableau 2 : Synthèses des caractéristiques d'analyse de l'aléa effondrements localisés sur puits et cheminées

5.3 Évaluation de l'aléa effondrement localisé sur travaux souterrains (galeries et carrière d'exploitation)

5.3.1 Description phénoménologique

L'analyse menée sur les données informatives ainsi que l'identification des mécanismes potentiels permettent de définir la typologie des ouvrages souterrains comme paramètre principal d'analyse de l'aléa effondrements localisés et la précision des données cartographiques comme critère secondaire.

Il convient donc de distinguer les deux types de cavités telles que décrites au paragraphe 4.1.2 :

- les grandes carrières d'exploitation ;
- les petites cavités d'extension limitée.

Parmi ces cavités, on peut distinguer :

- les zones accessibles et levés précisément ;
- les zones accessibles et non levés précisément ;
- les zones non accessibles et potentiellement affectées par des travaux souterrains (zones remblayées ou effondrées) ;
- les travaux supposés.

Mécanisme redouté 1 : Rupture d'un ou plusieurs piliers

Les dégradations observées dans certaines grandes carrières montrent que certains piliers présentent des signes de vieillissement avancé pouvant conduire à la rupture locale d'un ou de plusieurs piliers. À l'aide des zonages établis par ELC en 2016 (zones signalées dans l'étude ELC comme étant des zones avec compression des assises rocheuses et décompression de la voûte [11]), et des observations de terrain menées, un zonage a été établi des zones où l'état des piliers laisse craindre leur rupture.

Suite à une rupture d'un ou plusieurs piliers, le désordre peut se propager vers la surface, par rupture/glislements successifs, et déboucher en surface, plus ou moins brutalement, à l'aplomb de la zone de rupture au sein de la cavité souterraine (Figure 27) et générer un effondrement localisé.



Figure 27 : Représentation schématique d'un effondrement localisé par rupture de plusieurs piliers (source : Ineris)

Aucun désordre de ce type n'a été recensé en surface lors de la phase informative, mais au sein de la carrière du Portail Rouge et de la Tour Girard, des secteurs de plusieurs centaines de mètres de surface ont été vus effondrés au fond. Nous n'avons pas connaissance des conséquences qu'il y ait pu avoir en surface. Toutefois, étant donnée la faible profondeur de la carrière, le mécanisme doit être envisagé.

Ces désordres et mécanismes ne peuvent avoir lieu que pour les grandes carrières. Les petites carrières ne sont pas concernées (par absence de zone notable de chambres et piliers).

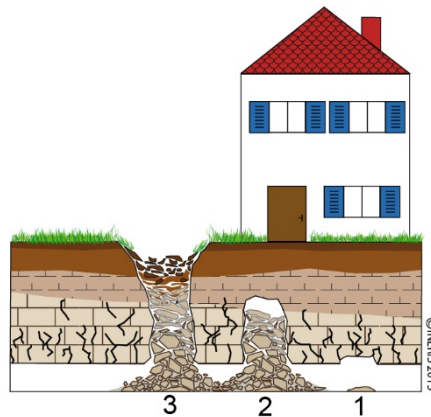
Mécanisme redouté 2 : Rupture du toit d'une galerie ou d'une chambre suivie d'une remontée jusqu'à la surface de type fontis

L'origine de ce phénomène est la rupture du toit d'une galerie à faible profondeur. Sous certaines conditions, la montée de voûte se propage vers la surface, au sein d'un « cylindre » vertical au droit de la galerie concernée, avant de s'évaser en cône en surface (Figure 28).

Dans le présent contexte, ces désordres peuvent théoriquement s'observer :

- au toit de galeries isolées et/ou des petites cavités ;
- au toit des chambres des grandes carrières d'exploitation.

Ce mécanisme doit également être envisagé dans les zones de carrières non accessibles mais potentiellement affectées par des travaux.



- 1 : chute de toit
- 2 : Montée de voûte
- 3 : Fontis
(et désordre en surface)

Figure 28 : Principe du fontis initié par une chute de toit

5.3.2 Évaluation de la probabilité d'occurrence pour les effondrements localisés de type fontis (liés à la présence de carrières et de galeries)

Dans ce cas, la probabilité d'occurrence de ces phénomènes est le plus souvent analysée en croisant la susceptibilité ou sensibilité de rupture souterraine (peu sensible, sensible ou très sensible) avec les potentialités de remontées de la rupture en surface, [3][5].

5.3.2.1 Prédilection à la rupture de piliers

La prédilection 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.).

Lors des visites au fond, des signes apparents de rupture de piliers ont été observés dans certains secteurs de la carrière du Portail rouge et de la Tour Girard, laissant supposer qu'une rupture d'un ou plusieurs piliers serait possible pour ces deux carrières. Une prédilection à la rupture des piliers est retenue comme très sensible pour les secteurs concernés. Pour les autres secteurs de piliers abandonnés en grandes carrières (en général massifs et en bon état), le niveau de sensibilité est ramené à peu sensible.

5.3.2.2 Prédilection à la rupture et à l'éboulement du toit de la cavité

L'évaluation de la prédilection de ce type de phénomène dépend classiquement :

- de la nature et la résistance mécanique de terrains exploités, du toit des galeries et du recouvrement ;
- de la largeur du toit des cavités (portée) ;
- l'existence de vides résiduels (fonction des méthodes d'exploitation) ;
- de la présence de phénomènes analogues sur le secteur ou dans des configurations (géologie, conditions d'exploitation...) identiques.

Dans le cas des exploitations étudiées ici, les exploitations (petites carrières et grandes carrières) n'ont pas été systématiquement remblayées, l'existence de vides résiduels y est donc avérée (à l'exception très locale de zones de remblais, détaillées plus avant).

Lors des visites au fond, des signes apparents de rupture de bancs de toit ont été observés, laissant supposer qu'une rupture du toit des galeries et une montée de voûte sont possibles pour les petites et les grandes carrières, sans distinction.

Toutefois, dans les petites cavités toutes très peu profondes et dans les zones d'entrée des grandes cavités, des dégradations sont systématiquement présentes et montrent des signes d'instabilité à court terme. Ceci est lié au fait que les terrains de recouvrement ici peu épais sont très altérés et plus exposés aux variations climatiques, accélérant la dégradation de la roche. La prédilection à la rupture du toit de ces petites cavités et des secteurs d'entrée des grandes carrières est jugée comme étant sensible à très sensible.

Pour les autres secteurs des grandes carrières (hors zone d'entrée), la prédilection à la rupture du toit est jugée comme étant peu sensible.

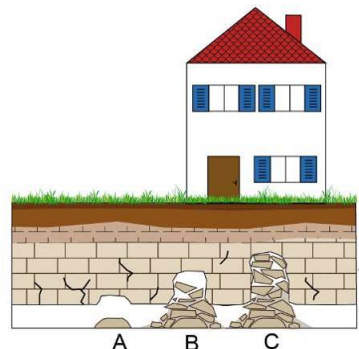
5.3.2.3 Prédilection à la remontée de l'instabilité jusqu'en surface

Une fois la ruine initiée au sein de la cavité celle-ci peut progresser et atteindre la surface ; deux mécanismes sont susceptibles de s'opposer à cette 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 prédilection d'un site à voir se développer des fontis en surface ;
- la stabilisation du phénomène par autocomblement, du fait du foisonnement des éboulis dans les vides de la cavité. Le volume des vides résiduels en profondeur (tenant compte de la dimension des galeries et de l'existence d'éventuels comblements), la nature du toit et des terrains de recouvrement (via le coefficient de foisonnement) et l'épaisseur des terrains de recouvrement influenceront directement sur la prédilection des remontées de voûte à se stabiliser par autocomblement ou à déboucher en surface (Figure 29).

Dans les faits, même si le critère de profondeur est étroitement dépendant de la nature des terrains de recouvrement, le retour d'expérience montre qu'au-delà d'une cinquantaine de mètres, la prédisposition aux remontées de fontis devient négligeable pour des galeries de dimensions classiques (présentant une hauteur inférieure à 4 m), [3][5], tout critère géologique confondu.

Dans le cas des exploitations étudiées ici, il s'agit généralement de galeries non remblayées, que ce soit pour les petites carrières ou les grandes carrières, de hauteur de l'ordre de 2,5 à 4 mètres et de profondeur inférieure à 30 mètres. Une remontée de l'instabilité en surface est donc probable voire très probable en fonction de la profondeur des cavités. En effet, les petites cavités et les zones d'entrée des grandes carrières sont très peu profondes (souvent de l'ordre de 5 mètres), on retiendra une gamme très probable pour la remontée en surface. Pour les grandes carrières qui sont plus étendues, la profondeur est plus importante (de l'ordre de 10 à 30 mètres maximum), on retiendra une gamme tout au plus probable pour les potentialités de remontée en surface.



A : chute de toit

B : Montée de voûte

C : Progression arrêtée du fait de l'autocomblement de la cavité par foisonnement des terrains éboulés

Figure 29 : Principe de l'autocomblement de vides résiduels stoppant une montée de voûte

5.3.2.4 Synthèse des probabilités d'occurrence retenues

Sur la base des éléments détaillés ci-dessus, les probabilités d'occurrence retenues pour l'apparition d'un effondrement localisé au droit des cavités étudiées sont :

- zones de petites carrières : forte au droit de la totalité de ces cavités connues ;
- zones de grandes carrières : forte au droit des zones d'entrée (jusqu'à une profondeur de l'ordre de 5 mètres) et moyenne au droit de la totalité des cavités connues au-delà de 5 m de profondeur ;
- zones de grandes carrières du Portail rouge et de la Tour Girard où les piliers montrent des signes de rupture (zones signalées dans l'étude ELC comme étant des zones avec compression des assises rocheuses et décompression de la voûte). L'état de dégradation de ces secteurs croisée avec une profondeur limitée à environ 30 m, nous amène à retenir une probabilité d'occurrence forte ;
- zone de cavités non accessibles à cause de la présence de remblais ou d'effondrement (grandes ou petites carrières) : le manque d'informations et la présence supposée de vides dans des zones peu profondes nous amène à retenir une probabilité d'occurrence moyenne pour ces zones ;
- zone de carrières supposées (de type petites carrières) : pour ces zones, la présence de vides n'étant pas avérée, il y a lieu d'intégrer la présomption de présence de vides dans la probabilité d'occurrence. Ce concept nous amène à diminuer la probabilité d'occurrence, qui est donc retenue comme étant tout au plus faible.

5.3.3 Évaluation de l'intensité des effondrements localisés de type fontis (liés à la présence de carrières et de galeries)

Comme pour les effondrements localisés liés aux puits précédemment, c'est ici aussi le diamètre du fontis en surface qui est retenu pour évaluer l'intensité.

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 dans le moyen et long terme.

Dans le présent contexte, les reconnaissances menées dans les cavités souterraines du secteur d'étude, permettent d'estimer les diamètres attendus des effondrements localisés.

Le diamètre est estimé à moins de 10 mètres pour les zones où le mécanisme est lié à la rupture du toit de la cavité, car la rupture aura lieu entre deux piliers. Dans les carrières où le mécanisme est lié à la rupture d'un ou plusieurs piliers, la surface de rupture est plus importante, on peut s'attendre à un effondrement en surface de diamètre supérieur à 10 mètres. On retiendra donc :

- une intensité modérée pour la totalité des petites et grandes carrières ;
- une intensité élevée pour les zones signalées dans l'étude ELC comme étant des zones avec compression des assises rocheuses et décompression de la voûte des carrières du Portail rouge et de la tour Girard.

5.3.4 Niveaux d'aléa effondrements localisés de type fontis (liés à la présence de carrières et de galeries)

Les niveaux d'aléas sont obtenus par croisement des niveaux de prédisposition et d'intensité (tableau suivant) : faible à fort pour les fontis.

| | Zones de travaux (petites et grandes carrières) | Probabilité d'occurrence aux effondrements localisés | Intensité des effondrements localisés | Niveau d'aléa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
| Effondrements localisés de type fontis (liés à la présence de carrières et de galeries) | Petites carrières | Forte | Modérée | Fort |
| | Zone d'entrées des grandes carrières (< 5 m) | Forte | Modérée | Fort |
| | Grandes carrières avec signe de vieillissement des piliers (zones avec compression des assises rocheuses et décompression de la voûte des carrières du Portail rouge et de la tour Girard) | Forte | Élevée | Fort |
| | Grandes carrières sans signe de vieillissement des piliers (totalité des grandes carrières à l'exception des zones avec compression des assises rocheuses et décompression de la voûte des carrières du Portail rouge et de la tour Girard) | Moyenne | Modérée | Moyen |
| | Zone de carrières inaccessibles | Moyenne | Modérée | Moyen |
| | Zone de carrières supposées | Faible | Modérée | Faible |

Tableau 3 : Synthèse des caractéristiques d'analyse de l'aléa effondrements localisés sur travaux souterrains

5.4 Aléa Écroulement rocheux (lié aux ruptures des fronts sous-cavés)

5.4.1 Description phénoménologique

Les fronts rocheux surplombant les entrées de carrières sont soumis à la gravité et aux actions naturelles et climatiques (pluie, variation de température, alternance de gel et dégel, vent...) qui agissent sur la roche et ses discontinuités, conduisant à une évolution lente du massif rocheux (Figure 30). Des masses rocheuses, plus ou moins volumineuses, issues de ces fronts, avec de forts angles de talus, peuvent alors se détacher de la paroi et chuter au pied du front : on parle d'écroulement rocheux.

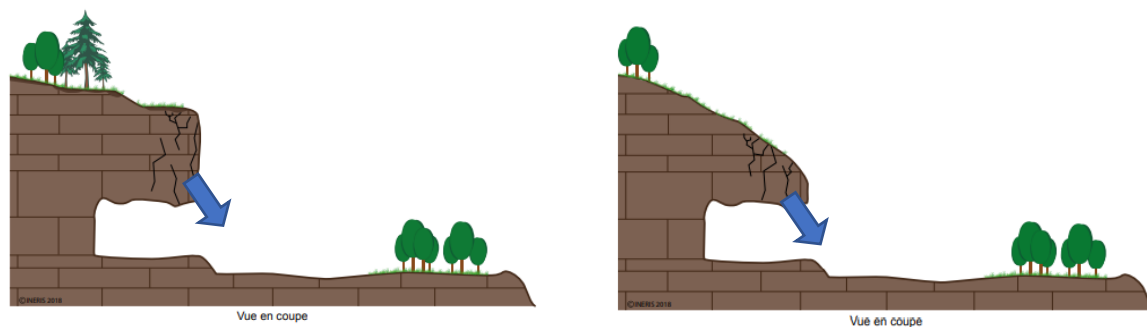


Figure 30 : Représentation schématique de 2 configurations favorables à la survenue d'un écoulement rocheux sur des entrées en cavage, [9]

5.4.2 Évaluation de la probabilité d'occurrence

Dans le cas présent, l'éroulement est conjoint à l'effondrement localisé de l'entrée en cavage concernée (accès à une carrière souterraine). Par conséquent, la prédisposition est la même que celles des entrées pour l'effondrement localisé. On retiendra donc une probabilité d'occurrence élevée sur les fronts des deux carrières concernées : des Ferrandières et des Marottes.

5.4.3 Évaluation de l'intensité

C'est principalement le volume de matériau mis en mouvement qui influe sur l'intensité des éroulements rocheux, [9]. Compte tenu de la densité de discontinuités qui affectent l'ensemble des fronts rocheux observés sur le terrain et des hauteurs limitées à 10 mètres, les volumes potentiellement mis en jeu ne seront certainement pas supérieurs à 10 m³ et de l'ordre de 0,1 m³ dans la majorité des cas. Ainsi, une intensité limitée est finalement retenue.

5.4.4 Niveau d'aléa

Le niveau d'aléa éroulement est défini comme moyen sur les fronts rocheux sous-cavés des cavités des Ferrandières et des Marottes.

5.5 Cartographie générale de l'aléa mouvement de terrain

Trois niveaux d'aléas sont donc retenus sur la commune de Châtellerault : l'aléa fort, l'aléa moyen et l'aléa faible.

Néanmoins, pour les phases suivantes de l'étude, les configurations pourront être considérées séparément, de manière à établir des prescriptions homogènes permettant de prévenir, voire de réduire le risque. Notons enfin que l'aléa faible n'a pas été retenu sur les autres secteurs de la commune, car aucun indice de cavités, ni mouvements de terrain (effondrement dans un champ, lieu d'extraction connu) ne nous a été signalé en-dehors des zones identifiées sur les secteurs d'Antoigné et de Targé. En l'état actuel des connaissances, ces secteurs du territoire communal n'ont pas été identifiés comme présentant un risque lié à des cavités souterraines.

L'aléa est un concept spatial, il est évalué en tout point du secteur étudié et a donc vocation à être cartographié de manière à faire ressortir les secteurs les plus sensibles au développement des phénomènes redoutés.

Cette cartographie doit nécessairement prendre en compte :

- l'extension latérale possible des désordres initiés au sein des travaux miniers, des dépôts et des ouvrages. L'expérience montre en effet que les phénomènes redoutés ne se limitent pas à l'aplomb strict, en surface, des secteurs souterrains « sensibles » ou aux limites exactes de dépôts et des ouvrages débouchant au jour mais peuvent déborder, parfois très largement, sur des terrains adjacents ;
- les incertitudes inhérentes aux localisations des ouvrages et des puits .

Les niveaux d'aléa sont représentés par les couleurs communément utilisées dans la cartographie de

l'aléa mouvement de terrain. L'aléa fort sera représenté par la couleur rouge, l'aléa moyen par la couleur orange, et l'aléa faible par le vert.

Les cartes des aléas sont placées en annexes 4 à 6 du rapport.

5.5.1 Effondrements localisés liés aux puits

Le rayon de la zone d'aléa d'effondrement localisé RA autour d'un puits est défini en considérant la marge de reculement Rs (voir paragraphe 5.2.3) et l'incertitude de positionnement du puits

$$RA = R_s + I = r_p + E + I$$

- le rayon du puits r_p ;
- un rayon supplémentaire, I , correspondant à l'incertitude globale de localisation des puits à savoir, celle du support cartographique (BD-Ortho®) et celle de la localisation intrinsèque du puits (égale à 1 mètre, car ils ont été levés au dGPS);
- une marge supplémentaire, E , relative à l'extension latérale du cône d'effondrement :

$$E = hc \times \cotan(\alpha) = hc \times \tan(90^\circ - \alpha), \text{ soit } 1 \text{ m ici.}$$

avec hc l'épaisseur des terrains déconsolidés de subsurface, 1 m, et α l'angle de talus naturels des terrains de subsurface, 45° retenu ici³ (voir paragraphe 5.2.3 relatif à l'intensité des effondrements localisés sur puits).

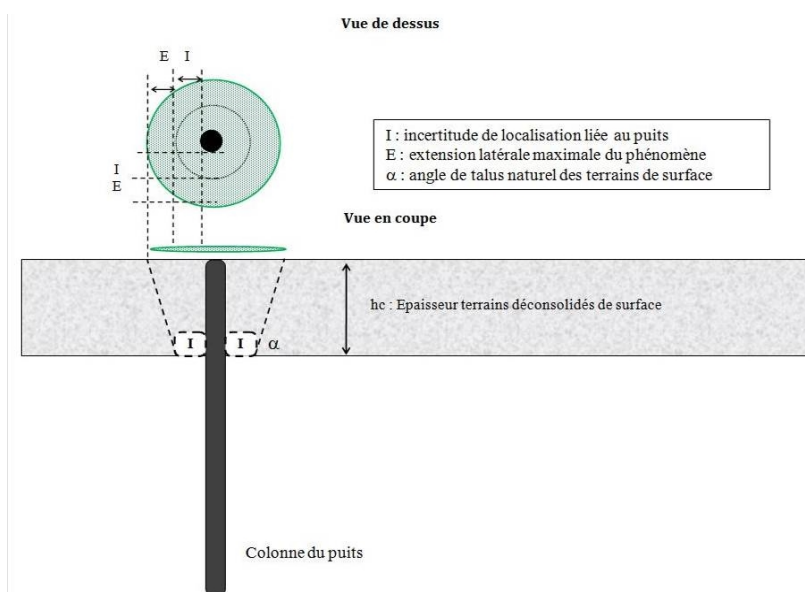


Figure 31 : Cartographie de l'aléa effondrement localisé (en vert) lié à un puits

5.5.2 Effondrements localisés de types fontis sur galeries

Un raisonnement identique au précédent, permet de définir les marges de la zone d'aléa relative à un effondrement localisé de type fontis initié au toit d'une galerie ou par rupture de piliers. Ces marges sont définies à partir de la précision du tracé des galeries et des carrières :

- incertitude globale de localisation des galeries et des carrières. Ces marges ont déjà été intégrées dans les emprises tracées lors de la phase informative (paragraphe 3) ;
- marge supplémentaire relative à l'extension latérale du cône d'effondrement, calculé par rapport à l'épaisseur des terrains peu cohérents de surface et l'angle de talus naturel α (voir précédemment pour les puits), estimée à 1 mètre.

La cartographie des aléas intègre la marge d'extension latérale à l'emprise des travaux.

³ Pour la cartographie des aléas, les extensions latérales retenues sont généralement les valeurs supérieures des extensions latérales retenues pour l'évaluation de l'aléa (tenant compte de l'évolution à long terme des cônes d'effondrement)

5.5.3 Écroulement rocheux

Dans le cas présent, les mécanismes de chutes de blocs redoutés sur les deux fronts sous-cavés des Ferrandières et des Marottes ont été affichés au sein d'une zone d'aléa déterminée par rapport à la position des entrées en cavage et de la hauteur H_f du front considéré. Par retour d'expérience, [9], sur ce type de mécanisme les marges amont, aval et latérales ont été prises égales à $H_f / 2$ (ajusté éventuellement de l'incertitude de positionnement, I), (Figure 32).

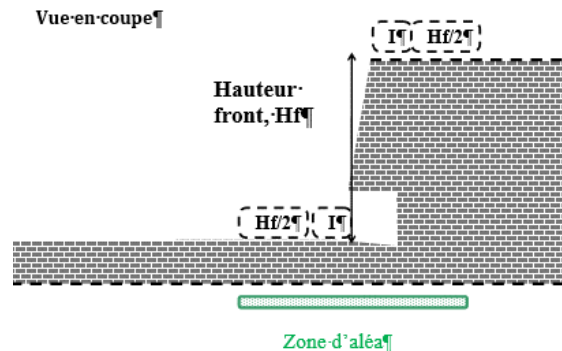


Figure 32 : Zonage de l'aléa « écoulement rocheux »

6 Conclusions

Le présent rapport a été élaboré dans le cadre de la phase 3 de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles (PPRN) de mouvements de terrain relatifs aux phénomènes d'effondrements de cavités sur la commune de Châtellerault.

Il a permis de détailler la démarche de finalisation des cartes informatives de la commune de Châtellerault en précisant les résultats des investigations complémentaires réalisées et en explicitant les éléments mis à jour sur les cartes informatives (annexes 1 à 3).

Le présent rapport a également détaillé la démarche d'évaluation des aléas qui a amené à retenir à l'issue de cette étude trois niveaux d'aléas sur la commune de Châtellerault : l'aléa fort, l'aléa moyen et l'aléa faible relativement aux phénomènes d'effondrements localisés (sur puits ou sur cavités) et à ceux d'écroulement rocheux sur les fronts sous-cavés.

Le tableau ci-après récapitule les aléas retenus à l'issue de cette phase. Les cartes placées en annexes 4 à 6 cartographient les aléas retenus.

Notons que pour les phases suivantes de l'étude, des configurations de même niveau d'aléa pourront être considérées séparément, de manière à établir des prescriptions homogènes permettant de prévenir, voire de réduire le risque.

| Type de configuration | Niveau de l'aléa effondrement localisé | Niveau de l'aléa écoulement rocheux |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|
| Puits et cheminées | FAIBLE | |
| Petites carrières | FORT | |
| Zone d'entrée des grandes carrières | FORT | |
| Zone de grandes carrières avec signe de vieillissement des piliers (zones avec compression des assises rocheuses et décompression de la voûte des carrières du Portail rouge et de la tour Girard) | FORT | |
| Zone de grandes carrières sans signe de vieillissement des piliers | MOYEN | |
| Zone de carrières inaccessibles | MOYEN | |
| Zone de carrières supposées | FAIBLE | |
| Front rocheux sous-cavés | | MOYEN |

Tableau 6 : Niveaux d'aléa mouvements de terrain liés aux cavités souterraines

7 Bibliographie et références

Rapports produits dans le cadre des études techniques du présent PPRN

- [1] Plan de Prévention des risques mouvements de terrain, commune de Châtellerault (86), Phase 1 : Acquisition de la connaissance, Note de synthèse n°1, rapport Ineris-181700-1969719 du 20/12/19
- [2] Plan de Prévention des risques mouvements de terrain, commune de Châtellerault (86), Phase 2 : Définition des besoins en investigations complémentaires », rapport Ineris-181700-2128622 du 26 mars 2020

Autres rapports et guides

- [3] Guide méthodologique « Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) –Guide général » - Documentation française – 2016,
- [4] Cahier de recommandations sur le contenu des PPR - MEDD/DPPR – Janvier 2006,
- [5] Guide méthodologique « Plan de prévention des risques naturels (PPR) – cavités souterraines abandonnées » - Documentation française – 2012.
- [6] Guide méthodologique « Plan de prévention des risques naturels (PPR) – guide de la concertation » - Documentation française – 2003
- [7] « Programme information, participation du public, concertation et association dans les PPR » - (MEDAD – CERTU décembre 2007).
- [8] Guide à l'usage des collectivités « La gestion du risque cavités souterraines » - (CEREMA décembre 2017)
- [9] Guide Aléa versant rocheux sous-cavé - Caractérisation et évaluation. Ineris 19 Juillet 2018.
- [10] BRGM, « Avis sur l'origine des fissures apparues sur la maison de la parcelle cadastrale AY111 à Antoigné, Commune de Châtellerault (86) », Rapport public référencé BRGM/RP-60853-FR, février 2012.
- [11] ELC, « Châtellerault (86), Etude des cavités de Châtellerault sur le secteur d'Antoigné », rapport référencé 86023 d'octobre 2016.
- [12] Préfecture de la Vienne, Direction Départementale des Territoires, « Plan de Prévention des Risques d'effondrement de cavités souterraines de la commune de Châtellerault, Note d'enjeux », septembre 2018.

8 Annexes

| Repère | Désignation | Nombre de pages |
|---------------|------------------------------------------------------------|------------------------|
| Annexe 1 à 3 | Cartes informatives (en 3 mises en page) | 3 Hors format |
| Annexe 4 à 6 | Carte des aléas mouvements de terrain (en 3 mises en page) | 3 Hors format |

