

**Concession de La Ferrière-aux-Etangs (61)
Etude des risques liés à la présence de
travaux miniers souterrains peu profonds :
Synthèse des investigations
Avis sur les risques et propositions de mesures de
prévention ou de mise en sécurité**

DIFFUSION :

Pôle Après Mine Ouest	J.-P. Besnard (2 ex.)
GEODERIS National	H. Baroudi (1 ex.)
GEODERIS Ouest	Archivage (1 ex.)

Réf : GEODERIS W2008/082DE – 08BNO2410

Date : 15/10/2008

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	T. DELAUNAY	B. MAZENC	C. VACHETTE

SOMMAIRE

1	<i>Introduction.....</i>	4
2	<i>Rappel des résultats de l'étude d'aléas 2006.....</i>	4
3	<i>Enjeux de surface et sites investigués.....</i>	9
4	<i>Investigations réalisées.....</i>	10
4.1	Rappel des objectifs.....	10
4.2	Réalisation de sondages destructifs.....	10
4.3	Auscultation sonar / laser et vidéoscopie.....	12
5	<i>Synthèse des résultats.....</i>	16
5.1.	Site 1 : La Grange – Habitation M. Rogue.....	16
5.1.1.	Résultats 2006-2007.....	16
5.1.2.	Résultats 2008.....	16
5.2.	Site 2 : La Grange – Habitation M. Lecomte.....	17
5.2.1.	Résultats 2006-2007.....	17
5.2.2.	Résultats 2008.....	17
5.3.	Site 3 : Le Brûlé Est – Habitation M. Guillaumin.....	18
5.4.	Site 4 : Le Brûlé Est – Habitation M. Boutry.....	18
5.5.	Site 5 : Les Landes – Habitation Mme Robillard.....	18
5.5.1.	Résultats 2006-2007.....	18
5.5.2.	Résultats 2008.....	18
5.6.	Site 6 : Les Landes – Habitation Mme Marie.....	19
5.7.	Site 7 : La Pilière – Habitation Mme Laumailier.....	19
6	<i>Analyse des aléas et des risques résiduels mouvements de terrain.....</i>	21
6.1	Sur la qualité des terrains de recouvrement.....	21
6.2	Sur le niveau de l'aléa.....	22
6.3	Sur l'extension et l'emprise de l'aléa.....	23
6.4	Sur le risque pour les biens et les personnes.....	24
7	<i>Proposition de mesures possibles de prévention ou de protection.....</i>	26
7.1	Mesure de prévention : surveillance.....	26
7.2	Mesure de protection : traitement.....	27
7.2.1	Comblement.....	27
7.2.2	Renforcement.....	28
8	<i>Analyse du risque corporel.....</i>	28
8.1	Rappel des éléments en notre possession.....	28
8.2	Analyse du risque corporel.....	30

Mots clés : Aléa, auscultation, banc résistant, effondrement localisé, enjeux, minéral de fer, mise en sécurité, risque, sondage.

Table des illustrations

Figure 1 : Extrait du zonage de l'aléa effondrement localisé et localisation des 7 sites investigués sur La Ferrière-aux-Etangs..... 5

Figure 2 : Méthode d'exploitation par « tailles montantes » (d'après Perrotte et Lidou)..... 6

Figure 3 : Méthodes d'exploitation par tailles montantes et chambres magasins à La Ferrière-aux-Etangs (exemples dans le secteur Nord, d'après plan au 1/5000^{ème})..... 7

Figure 4 : Nomenclature utilisée pour l'expertise géotechnique des travaux et zonage de l'aléa effondrement localisé retenu en 2005 à l'aplomb de travaux peu profonds sur La Ferrière-aux-Etangs (cf. [1]) 8

Figure 5 : Log foreur du sondage n°3003 Site 2 « La Grange » - La Ferrière aux Etangs (61)..... 11

Figure 6 : Vue 2D orientée de la cavité depuis le sondage 3005 (Site 2 - La Ferrière-aux-Etangs) 13

Figure 7 : Vue 3D de la cavité (chambre d'exploitation) depuis le sondage 3005 (Site 2 - La Ferrière-aux-Etangs) 14

Figure 8 : Photographie de la voie de tête et de la couronne des chambres d'exploitation situées au sud de l'habitation de la PILLIÈRE (Site 7 – La Ferrière aux Etangs) - (visite juin 2006 - vue vers le sud)..... 15

Figure 9: Photographie d'un chantier d'exploitation située au sud de l'habitation de la PILLIÈRE (Site 7 – La Ferrière aux Etangs) - (visite juin 2006 - vue vers le nord depuis la voie de tête)..... 15

Figure 10 : Photographie depuis le sondage 7-SD2 de la cavité (chambres et piliers abandonnés) au droit de l'habitation de la PILLIÈRE (Site 7 – La Ferrière aux Etangs) - Vue vers le sud-ouest..... 20

Figure 11: Partie visible en 3D de la chambre d'exploitation depuis le sondage 7-SD2 au droit de l'habitation de la PILLIÈRE (Site 7 – La Ferrière aux Etangs) 20

Figure 12 : Nouveau zonage de l'aléa effondrement localisé à l'aplomb des travaux peu profonds sur les sites investigués..... 24

Tableau 1 : Liste des sites d'enjeux bâtis retenus en zone d'aléa « effondrement localisé » de niveau moyen 9

Tableau 2 : Caractéristiques des niveaux de prédisposition retenus pour les sites d'enjeux bâtis sur La Ferrière aux-Etangs (61)22

Tableau 3 : Nouvel aléa retenu par sites d'enjeux bâtis (habitation) sur La Ferrière aux Etangs (61).....23

Tableau 4 : Evaluation du risque par sites d'enjeux (bâtis) sur La Ferrière Aux Etangs (61).25

Tableau 5 : Actions de surveillance recommandées par site retenu en risque sur La Ferrière-aux-Etangs (61).....27

Tableau 6 : Inventaire, du Nord au sud, des ouvrages débouchant au jour - Mine de La Ferrière-aux-Etangs (cf. [1])29

Table des annexes

Annexe 1 : Tableau de synthèse sur l'analyse des risques résiduels et mesures de prévention recommandées

Annexe 2 : Planches (1 à 3) des sites investigués

Annexe 3 : Synthèse cartographique des aléas mouvements de terrain sur le bassin ferrifère de la Ferrière-aux-Etangs (hors texte)

1 INTRODUCTION

Suite à la mise en évidence, lors de l'établissement de la carte d'aléas « mouvement de terrain » sur les concessions de la Ferrière-aux-Etangs et de Mont-en-Gérôme (cf.[1]¹), de sept zones à risque, Géoderis s'est vu confié à la demande de la DRIRE de Basse-Normandie, l'analyse des risques résiduels sur ces zones. Un aléa correspondant au phénomène d'effondrement localisé a en effet été évalué de niveau moyen et peut affecter sept sites d'habitations.

A la demande de la DRIRE de Basse-Normandie et en vue de l'établissement des Plans de Prévention des Risques Miniers sur les communes concernées, il a donc été décidé d'engager des travaux permettant de présenter un nouvel état géotechnique des lieux et de préciser, à proximité des zones d'enjeux bâtis existants, l'aléa et le risque.

Une première campagne de reconnaissances par sondages destructifs a été réalisée en 2006 puis une analyse des risques en 2007 (cf. [2]). A la lumière des résultats et des conclusions sur les 7 sites investigués, 3 d'entre eux nécessitaient une reconnaissance complémentaire. Cette dernière a été réalisée en 2008.

Ces investigations et leur analyse permettent de confirmer ou non les niveaux d'aléa et de risques résiduels. Le cas échéant, ces niveaux peuvent pour certains sites aboutir à des propositions de mesures de prévention ou de protection, selon la configuration des travaux miniers souterrains et la vulnérabilité existante en surface, dans l'optique de constituer un outil d'aide au choix des dispositions qui peuvent être prises.

Ce document constitue une synthèse de l'ensemble des données issues des investigations et présente la mise à jour de la cartographie des aléas « mouvements de terrain » ainsi que l'analyse des risques résiduels.

2 RAPPEL DES RESULTATS DE L'ETUDE D'ALEAS 2006

La carte d'aléas « mouvements de terrain » de la concession de La Ferrière-aux-Etangs, établie par Géoderis [1], a mis en évidence l'existence d'un aléa effondrement localisé avec un niveau évalué, sur bases documentaires, comme étant moyen, en particulier sur la commune de La Ferrière-aux-Etangs (cf. Figure 1) et où 7 sites présentant des risques prioritaires ont été identifiés (cf. § 3.). La définition des aléas s'appuie sur les retours d'expériences acquis sur des gisements aux configurations géologiques et minières similaires (bassins ferrifères de l'ouest) confrontée à des observations d'événements passés (anciens ou plus récents) sur le site de la Ferrière-aux-Etangs.

¹ Références en fin de document, chapitre bibliographie

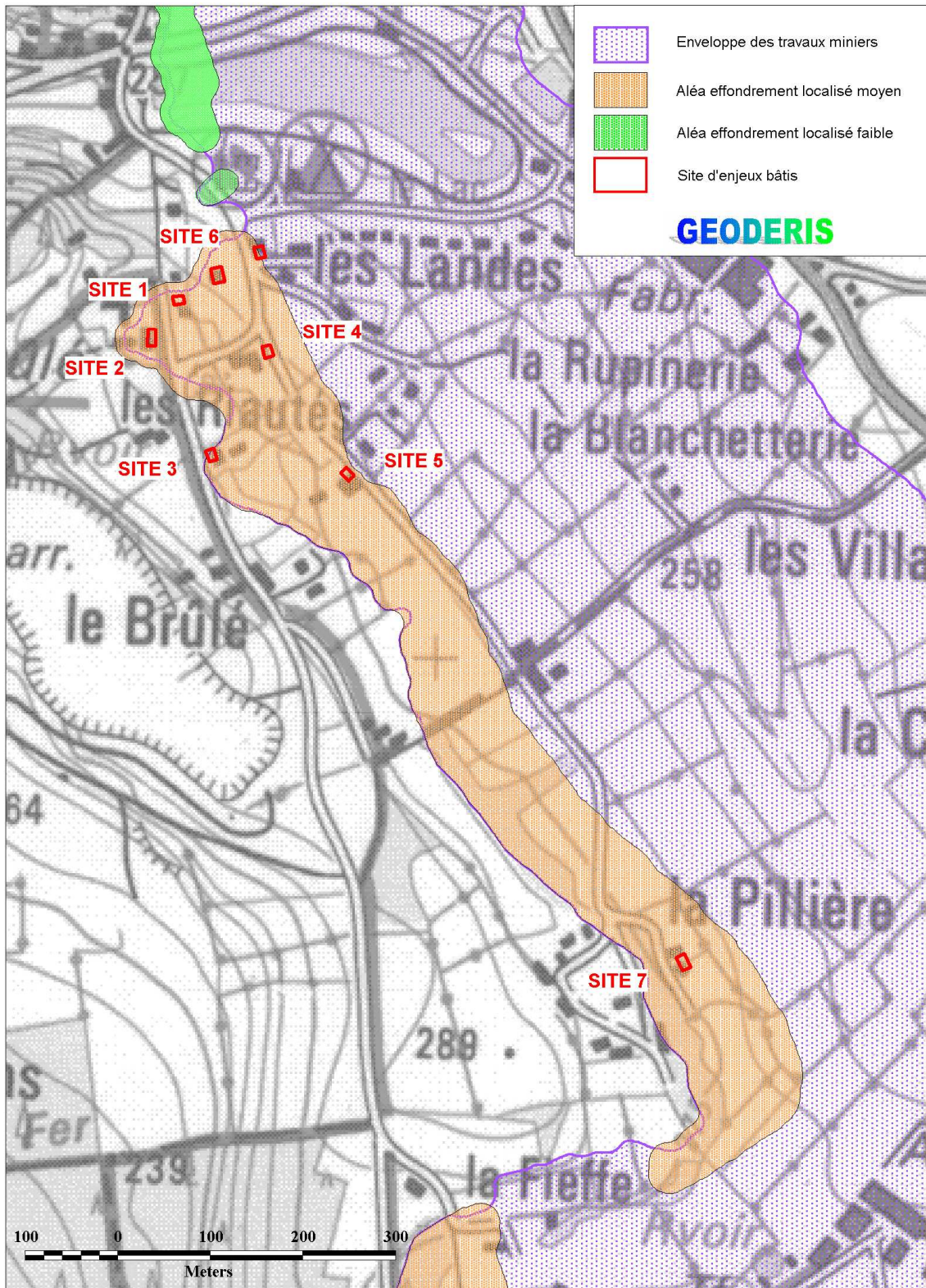


Figure 1 : Extrait du zonage de l'aléa effondrement localisé et localisation des 7 sites investigués sur La Ferrière-aux-Etangs

Le niveau d'aléa « **effondrement localisé** » retenu comme moyen est expliqué par la présence à faible profondeur (inférieur à 50 m) de travaux miniers réalisés dans une couche de fort pendage (d'environ 45° à 50°) et de puissance comprise entre 2 et 5 m. L'exploitation en chambres très inclinées a engendré la création de vides sur une hauteur relativement importante, avec des volumes dépilés pouvant être conséquents (cf. Figures 2 et 3). Ce niveau d'aléa tient également compte du fait que les travaux s'inscrivent dans une formation schisto-gréseuse (schistes d'Angers) de résistance mécanique très variable d'autant plus dans la zone d'altération proche de la surface et/ou en présence d'anciennes ferrières plus ou moins remblayées (zone d'infiltration d'eau et donc d'altération privilégiée). Cette résistance peut également s'avérer avec le temps amoindrie au niveau du battement de la nappe d'eau qui fluctue depuis plusieurs années entre les cotes NGF 240 m et 250 m (soit 20 à 30 m au-dessus de l'exhaure prévu au niveau TB 220), c'est-à-dire à une trentaine de mètres de profondeur au niveau des travaux miniers les plus superficiels.

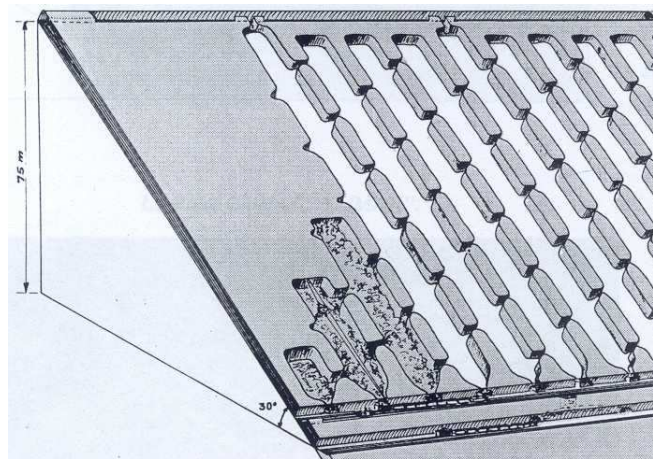


Figure 2 : Méthode d'exploitation par « tailles montantes » (d'après Perrotte et Lidou)

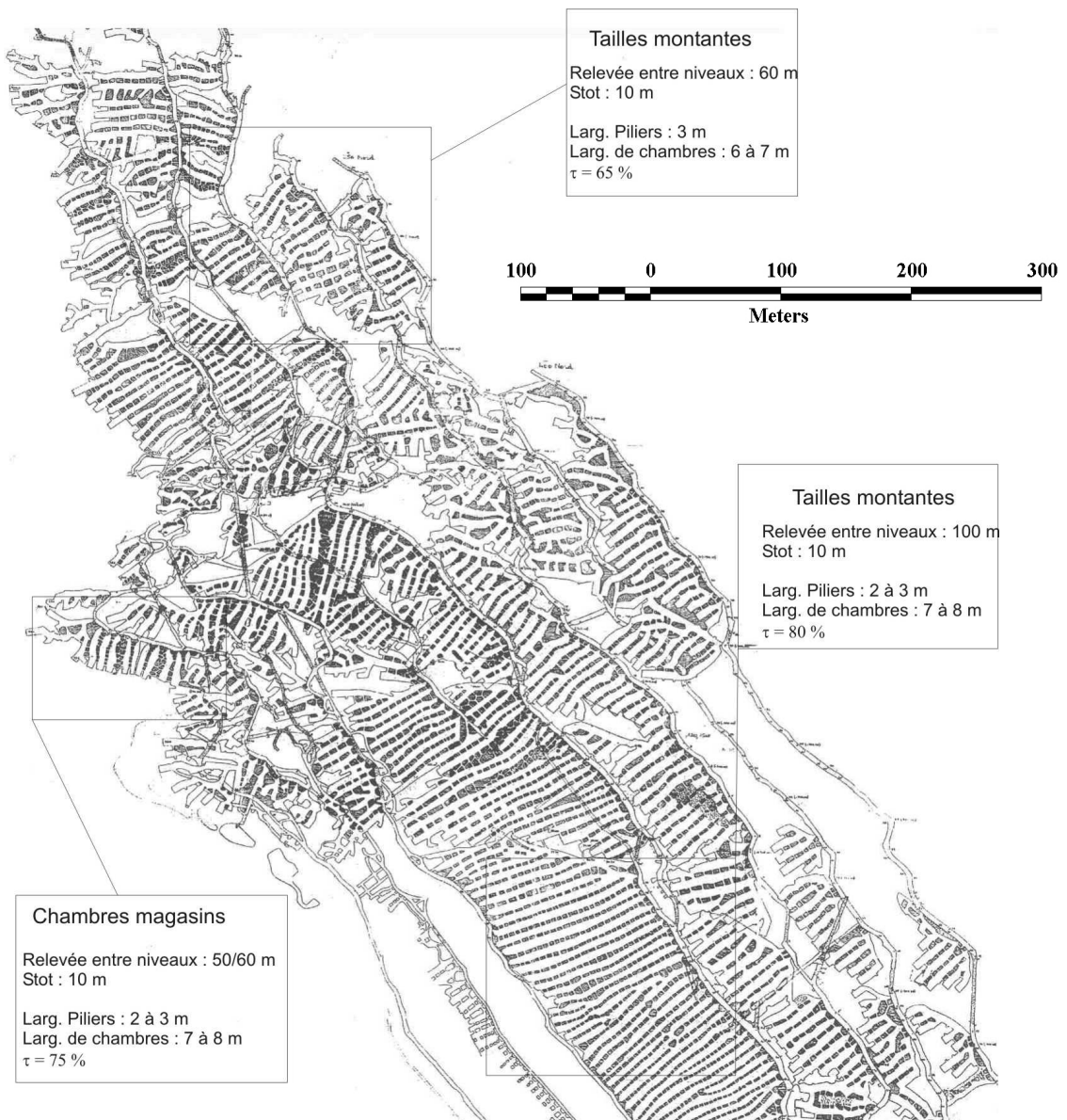


Figure 3 : Méthodes d'exploitation par tailles montantes et chambres magasins à La Ferrière-aux-Etangs (exemples dans le secteur Nord, d'après plan au 1/5000^{ème})

La cartographie de l'aléa « **effondrement localisé** » sur travaux peu profonds établie en 2005 (cf. [1]) a tenu compte d'une **marge d'incertitude** sur la position réelle des travaux miniers superficiels (prise égale à 10 m, valeur évaluée suivant le calage fond/jour des plans d'exploitations) et d'une **marge dite d'influence** correspondant à l'emprise en surface pouvant être affectée par les phénomènes d'effondrement localisé dont le rayon dépend essentiellement de l'épaisseur des terrains altérés de surface (prise suivant la position des travaux vis à vis des terrains encaissants, soit 10 m côté aval et 0 m côté amont en ayant préalablement intégré dans l'aléa la zone d'affleurement de la couche de minerai – cf. Figure 4).

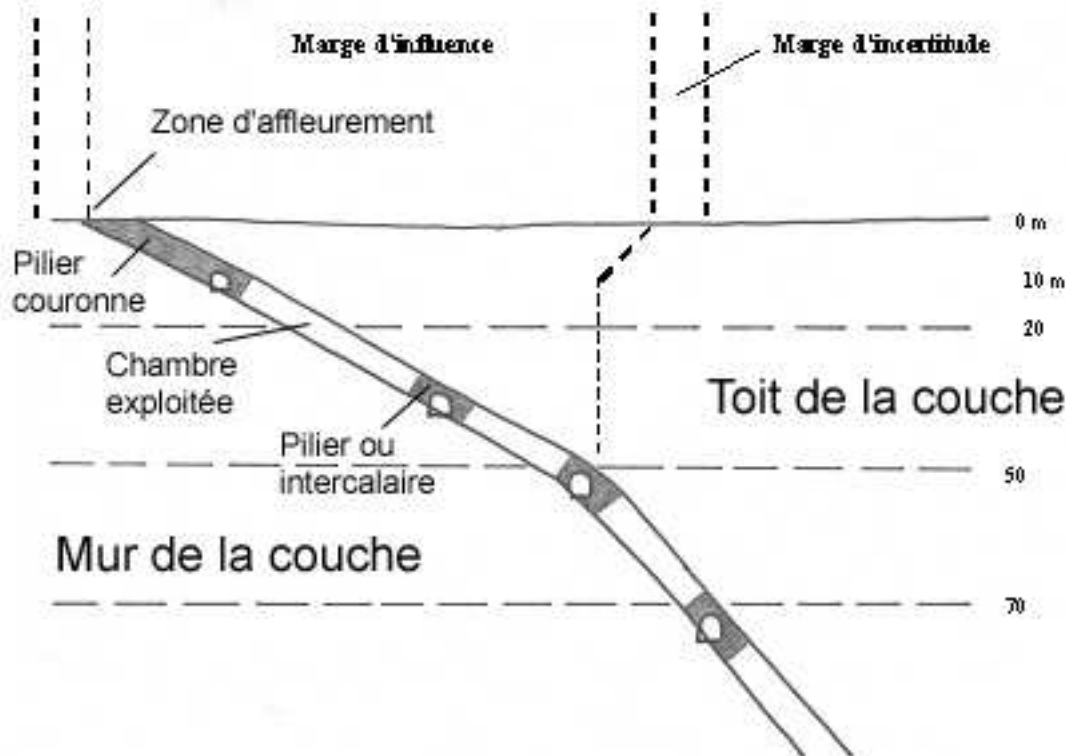


Figure 4 : Nomenclature utilisée pour l'expertise géotechnique des travaux et zonage de l'aléa effondrement localisé retenu en 2005 à l'aplomb de travaux peu profonds sur La Ferrière-aux-Etangs (cf. [1])

3 ENJEUX DE SURFACE ET SITES INVESTIGUES

Une **zone à risque** « mouvement de terrain » est définie comme la partie de la zone d'aléa dans laquelle se trouvent des enjeux de surface (habitation, infrastructure, aire de concentration de personnes...).

Plusieurs maisons d'habitation, sur la commune de La Ferrière-aux-Etangs, sont en partie ou totalement impliquées en zone d'aléa moyen. Compte tenu de cette vulnérabilité, l'aléa retenu en terme de phénomène, à savoir l'effondrement localisé, peut constituer, dans la mesure où son niveau est jugé moyen, un risque pour la sécurité publique. Pour la concession de La Ferrière-aux-Etangs, il s'agit exclusivement d'effondrements localisés liés aux exploitations superficielles (inférieures à 50 m de profondeur), dont l'évènement peut être d'intensité importante, dommageable, et/ou qu'il y ait des raisons de penser qu'il se produise à court ou moyen terme, sans qu'il soit possible d'en évaluer la probabilité d'occurrence. La présence d'anciens effondrements plus ou moins importants ainsi que les incertitudes sur les données ayant conduit à la qualification de l'aléa ont nécessité de procéder à une reconnaissance spécifique (sondages et auscultations) pour apprécier, dans ce cas, la localisation, la géométrie et l'état précis des exploitations, ainsi que la qualité mécanique des terrains de recouvrement.

Sept habitations sont concernées par ces reconnaissances (cf. Tableau 1). Elles se situent toutes dans le secteur nord de la mine (cf. Figure 1), là où le pendage de la couche est a priori le plus redressé, souvent de l'ordre de 45°, voire plus localement.

N° Site	Lieu-dit	Section cadastrale	Nom propriétaire	Type Enjeu
1	La Grange ou « Les Riautés »	E n°456	M. Rogue	Habitation + voirie
2	La Grange ou « Les Riautés »	AD n°30	M. Lecomte	Habitation + garage + voirie
3	Le Brûlé Est	E n°103	M. Guillaumin	Habitation
4	Le Brûlé Est	E n°111	M. Boutry	Habitation + hangar + voirie
5	Les Landes	E n°171	Mme Robillard	Habitation + hangar + voirie
6	Les Landes	E n°270	Mme Marcelle	Habitation + hangar + voirie
7	La Pillière	E n°44	Mme Laumailier	Habitation + hangar

Tableau 1 : Liste des sites d'enjeux bâtis retenus en zone d'aléa « effondrement localisé » de niveau moyen

4 INVESTIGATIONS REALISEES

4.1 RAPPEL DES OBJECTIFS

Pour des raisons d'inaccessibilité aux travaux souterrains, les investigations ont été réalisées par sondages destructifs depuis la surface et auscultation des vides rencontrés par sonar (partie ennoyée) ou laser et vidéoscopie (partie hors d'eau).

Les objectifs de ces sondages étaient multiples :

- reconnaître les travaux souterrains peu profonds et inaccessibles à proximité des enjeux (galeries et/ou chambres et leurs dimensions, état, remblayage,...) ;
- permettre un meilleur calage fond/jour des travaux souterrains peu profonds pour diminuer l'incertitude cartographique de la zone d'aléa à proximité des enjeux ;
- apprécier la résistance mécanique des terrains de recouvrement au-dessus d'une cavité reconnue ;
- permettre, si possible et le cas échéant, de réaliser des inspections et surveillances ultérieures.

4.2 REALISATION DE SONDAGES DESTRUCTIFS

Deux campagnes ont été effectuées. Tout d'abord, la société Francilienne de Forage a réalisé, entre les 6 et 17 novembre 2006, 17 sondages destructifs dans l'optique de recherche de vide à proximité des maisons d'habitations de 6 sites (cf. [3]). Le site 3 a été abandonné. En effet, après étude géologique spécifique, il apparaît que l'habitation se situe au-delà d'une ancienne ferrière remblayée (affleurement de la couche de minerai) et est donc en-dehors de l'aléa.

Les sondages ont été implantés et suivis par le BRGM. La localisation des sondages et les coupes et profils géotechniques ont fait l'objet d'un rapport (cf. [4]). Il est à noter que le calage initial des plans miniers et la qualité de l'implantation ont permis de limiter le nombre de sondages destructifs infructueux (c'est-à-dire ne traversant pas un vide). Deux sondages (Fer 41 et Fer 73) ont rencontré des vides, respectivement sur les sites 4 et 7, et ont été équipés (tubage) pour permettre les auscultations par laser et vidéoscopie.

Les sondages ont été réalisés par roto-percussion à l'eau. Sur les sites n°1, 2 et 5, les terrains rencontrés étant le plus souvent très résistants (ils n'ont pu être traversés), les cavités minières n'ont pu être atteintes. Une seconde campagne a donc été entreprise en 2008 pour ces 3 sites, par sondages destructifs à l'air (marteau fond de trou, technique de foration plus puissante et adaptée aux terrains rencontrés).

La société CEBTP-SOLEN a ainsi réalisé, entre les 3 et 14 mars 2008, 5 sondages destructifs dans l'optique d'atteindre les cavités à proximité des enjeux des sites 1, 2 et 5 (cf. [5]). Quatre forages (n° 3001, 3003, 3004, et 3005 – cf. Figure 5 et planches 1 à 3 en annexe 2) ont rencontré des cavités (une sur le site 5 et trois sur les sites 1 et 2) et ont été équipés (tubage) pour permettre les auscultations par sonar (mine ennoyée). Les sondages ont été implantés et suivis par l'INERIS en collaboration avec Géodéris (cf. [6]).

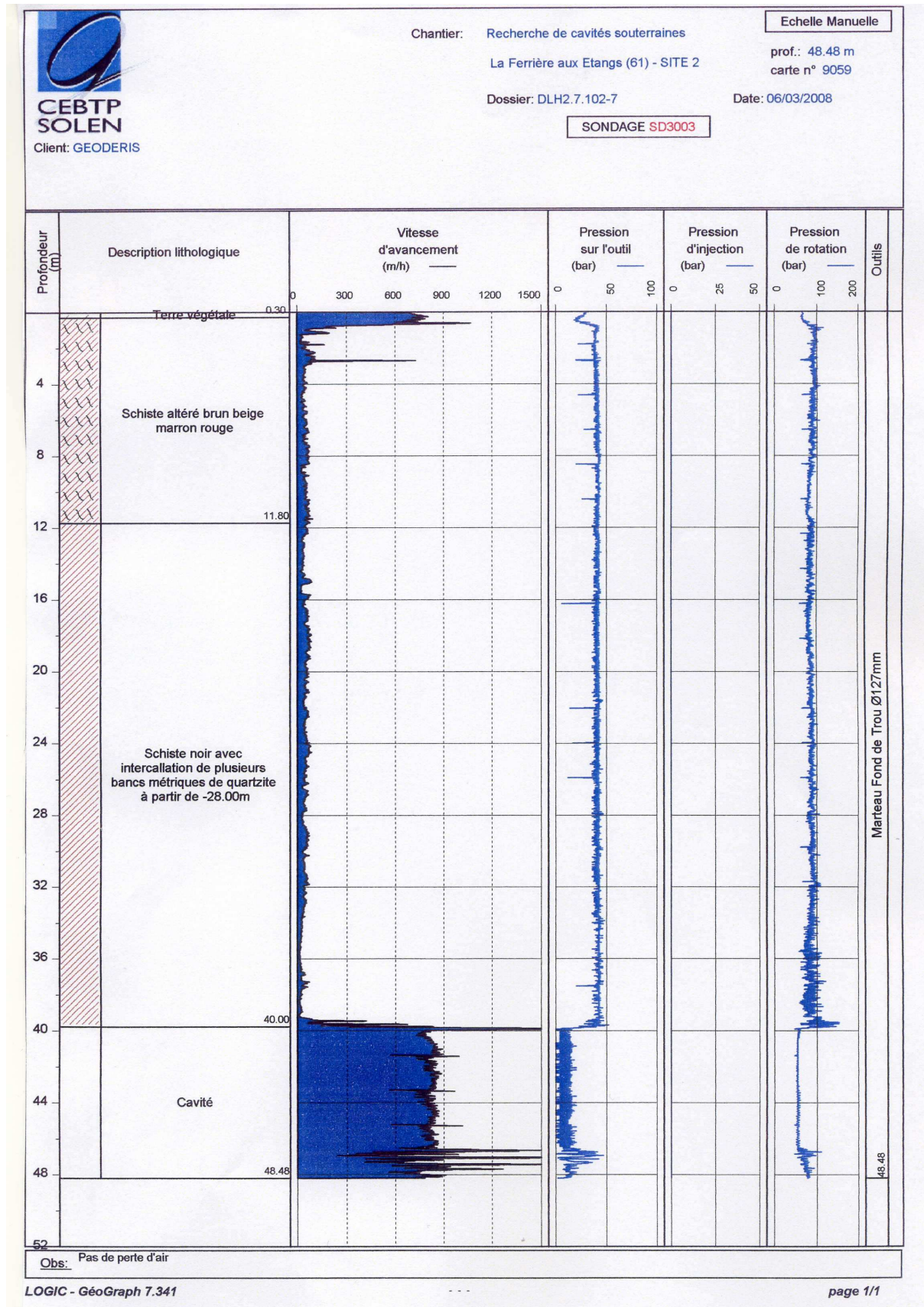


Figure 5 : Log foreur du sondage n° 3003 Site 2 « La Grange » - La Ferrière aux Etangs (61)
 GEODERIS W2008/082DE – 08BNO2410 Page 11 sur 31

4.3 AUSCULTATION SONAR / LASER ET VIDEOSCOPIE

Les investigations par laser ou sonar (entreprise Flodim, cf. [7] et [9]) ont été menées à l'issue de chacune des campagnes de sondages, respectivement en décembre 2006 et avril 2008. Les coupes sériées obtenues ont permis de positionner au mieux les cavités par rapport à la surface et de connaître leurs dimensions (largeur, hauteur, volume) ainsi que leur directions principales (pendage de l'exploitation).

La compilation des coupes 2D et 3D sonar ou laser d'une cavité permet de vérifier (cf. figures 6 et 7) :

- la profondeur de la cavité ;
- l'orientation de la cavité en termes de direction et pendage ;
- la localisation de la cavité par sa géométrie restituée sur le plan de mine (présence d'un pilier, présence de remblais en pied, niveau d'eau,...)
- les dimensions de la cavité, en particulier son volume et la puissance réelle exploitée.

Remarque : Le report des coupes horizontales sonar du sondage n° 3004 sur le plan de mine montre une anomalie d'orientation des coupes de 45° vers l'ouest (ces coupes devant être rotées de 45° dans le sens anti-horaire pour apparaître cohérentes). Ceci a été vérifié par une géométrie des travaux non respectée et confirmée par la présence d'une cavité commune avec le sondage n° 3003 qui en l'état du report des coupes du n° 3004 présentait un écart de profondeur de plus de 10 m.

Après vérification, la société Flodim nous a confirmé par mail du 9 septembre 2008 que durant la phase d'acquisition des données sonar du sondage n° 3004, des problèmes de déviation magnétique de la boussole électronique ont été enregistrés. Ces problèmes n'ont pas été détectés pendant l'acquisition des données obligeant la société Flodim à corriger partiellement certaines coupes lors de la phase de traitement. La société Flodim interprète cette déviation par la présence d'une anomalie magnétique locale anthropique (objet métallique abandonné dans la cavité) ou naturelle (présence de magnétite dans le minerai, les enregistrements de la cavité n° 3004 ayant été réalisés très près d'un parement et du sol de la chambre exploitée). Ce problème peut être également dû au frottement du câble et/ou du sonar dans le sondage, qui génère un retard d'acquisition des données d'orientation lors de la rotation de la sonde. Dans ce dernier cas déjà rencontré sur d'autres sites (hors La Ferrière-aux-Etangs), l'anomalie avait été détectée en temps réel par la confrontation des images brutes et nos connaissances de la géométrie des travaux miniers (géométrie difficilement appréciable pour les travaux en chambres et piliers abandonnés au droit du sondage n° 3004).

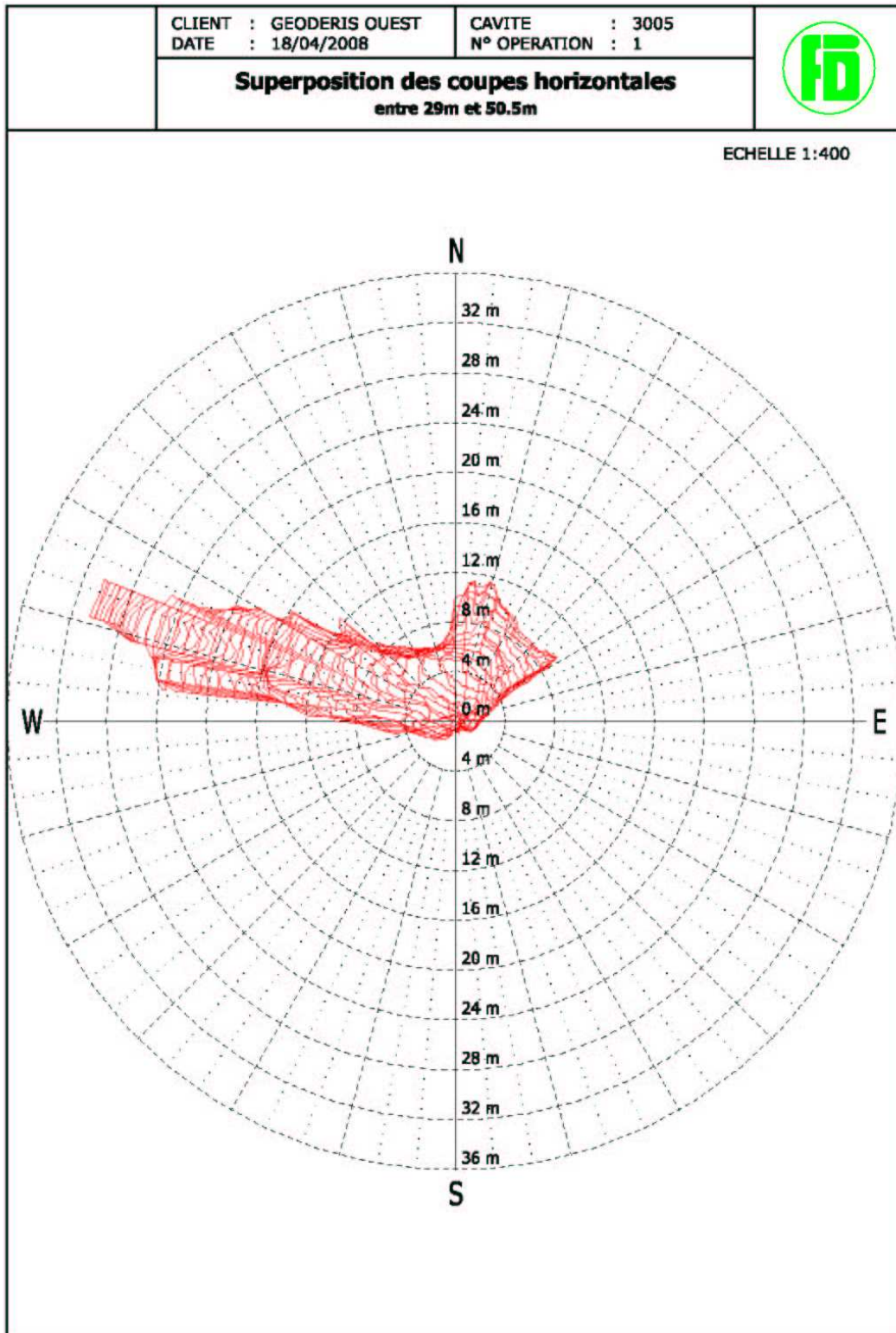


Figure 6 : Vue 2D orientée de la cavité depuis le sondage 3005 (Site 2 - La Ferrière-aux-Etangs)

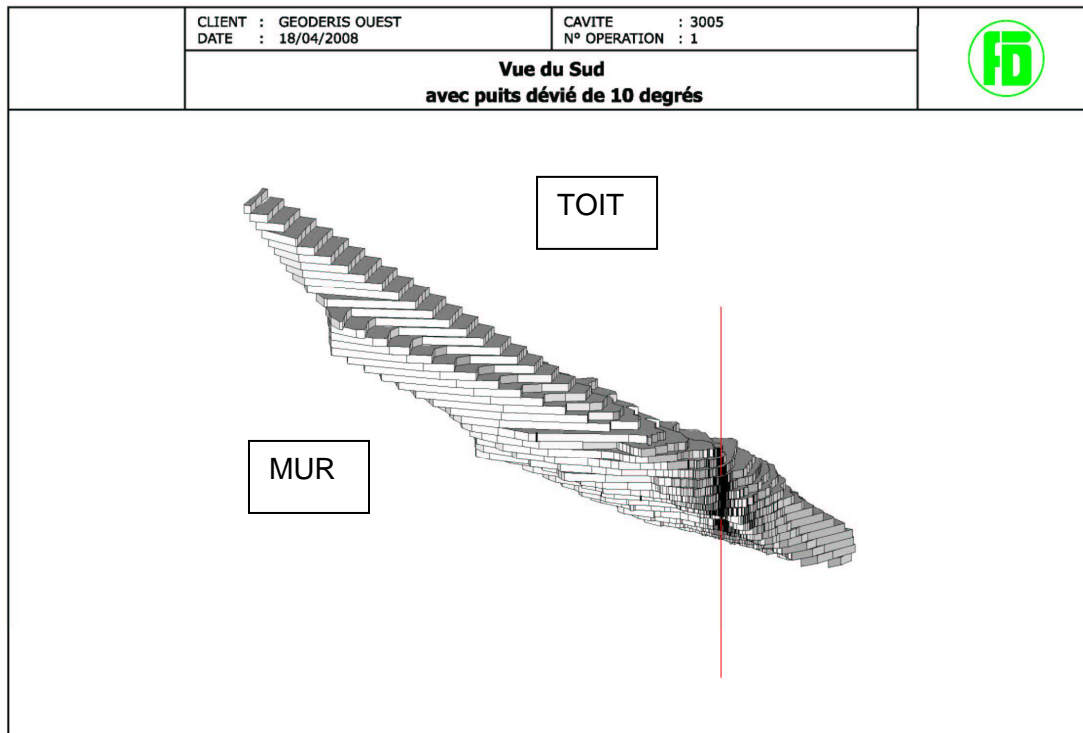


Figure 7 : Vue 3D de la cavité (chambre d'exploitation) depuis le sondage 3005 (Site 2 - La Ferrière-aux-Etangs)

Dans certaines conditions, l'état général d'une cavité peut être également apprécié par interprétation des coupes sonar ou laser. En effet, une importante régularité de ces coupes sur des distances importantes (cas de La Ferrière-aux-Etangs) peut permettre d'émettre l'hypothèse du bon état géotechnique d'une cavité (toit et/ou mur relativement « lisses »). Cependant, la précision des enregistrements laser ou sonar rend difficilement interprétable la géométrie de la cavité au-delà d'une simple évaluation de son état général². Pour cette raison, ces auscultations sont couplées, lorsque cela est possible (cavité hors d'eau), avec une vidéoscopie de la cavité. Un passage caméra vidéo (entreprise IGC, cf. [8]) a donc été réalisé sur la seule cavité hors d'eau (sondage n°7-SD2 à la Pillaire) en janvier 2007. Les images obtenues ont permis d'observer l'état géotechnique (mur, toit et couronne) de la cavité (cf. Figure 10). Parallèlement, une visite d'une partie des travaux accessibles situés à une centaine de mètres au sud de La Pillaire (site 7) avait été organisée en juin 2006. Cette visite avait permis d'apprécier visuellement les importants volumes de vides, une géométrie régulière d'exploitation (chambres et piliers abandonnés avec piliers carrés de 4 à 5 m de côté) ainsi qu'un bon état géotechnique de l'édifice minier (cf. Figures 8 et 9).

² Dans le cas d'une surveillance, les auscultations sonar ou laser peuvent être utilisées par comparaison et évolution des coupes et images (différence de géométrie, de volumes, etc...) dans le temps.



Figure 8 : Photographie de la voie de tête et de la couronne des chambres d'exploitation situées au sud de l'habitation de la Pilière (Site 7 – La Ferrière aux Etangs) - (visite juin 2006 - vue vers le sud)

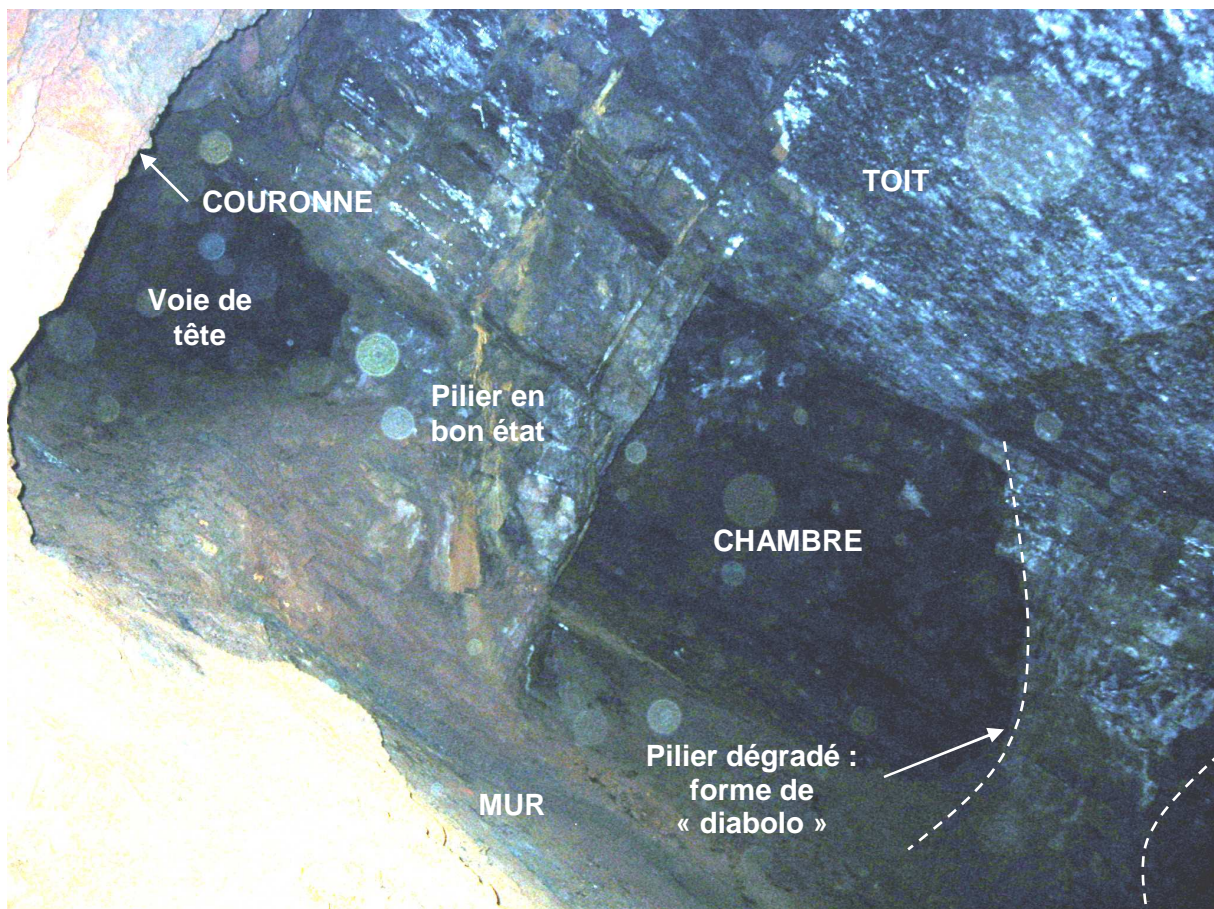


Figure 9: Photographie d'un chantier d'exploitation située au sud de l'habitation de la Pilière (Site 7 – La Ferrière aux Etangs) - (visite juin 2006 - vue vers le nord depuis la voie de tête)

5 SYNTHÈSE DES RESULTATS

Les investigations et auscultations menées permettent de préciser les caractéristiques de l'exploitation minière à proximité des habitations. A l'issue des investigations de 2006, l'ensemble des données recueillies a fait l'objet en 2007 d'une analyse par l'INERIS afin de réexaminer l'aléa et d'analyser les risques résiduels en terme d'emprise et de niveau (cf. [2]). Pour les sites 1, 2 et 5, cette analyse a montré la nécessité d'entreprendre de nouvelles investigations (cf. § 4.2). Dans ce chapitre sont rappelés, par site, les résultats et les conclusions de l'INERIS sur les reconnaissances de 2006 (cf. [2]) complétées des nouvelles données acquises sur les sites 1, 2 et 5 en 2008. Les principaux résultats sont synthétisés dans la première partie du tableau de l'annexe 1.

Ce chapitre constitue la synthèse des données issues des investigations. Leur analyse et les conclusions sur l'aléa et le risque sont présentées en chapitre 6.

5.1. SITE 1 : LA GRANGE – HABITATION M. ROGUE

5.1.1. RESULTATS 2006-2007

Les quatre forages réalisés sur la propriété de M. Rogue n'ont pas rencontré de cavité, les profondeurs atteintes étant insuffisantes et/ou leur implantation étant en limite des travaux miniers. Néanmoins, l'élément à retenir fut la rencontre d'un banc très résistant sur le forage le plus profond (à 27 m sur 1-SD1) provoquant la perte de l'outil. On montrera plus loin qu'aux endroits investigués ce banc résistant est représentatif des terrains sus-jacents et immédiats aux travaux miniers dès lors que leur profondeur est supérieure à 30 m. Sa présence s'avèrera donc très importante quant à la réévaluation des aléas.

5.1.2. RESULTATS 2008

L'analyse des données a montré que pour ce site, les incertitudes sur la configuration des travaux miniers pouvaient être importantes à cet endroit. Le propriétaire ayant refusé de nouveaux sondages sur sa propriété, un forage (n° 3002) a été réalisé sur le chemin communal à 21 m au sud-ouest de l'habitation (en amont pendage), au voisinage présumé de la tête de chambre (cf. planche 1, annexe 2). Le minerai de fer en place y a été rencontré entre 25 et 29 m de profondeur. Ainsi, en tenant compte d'un pendage sécuritaire pris à 20° vers l'est³ et sachant que le calage des travaux miniers est relativement précis (à 2 m près - cf. § 5.2), la chambre d'exploitation se situerait entre 31 et 36 m de profondeur sous la moitié sud de l'habitation. Ceci confirme que les profondeurs des sondages de 2006 étaient insuffisantes.

³ Pendage estimé sur la base des interprétations du plan et des données recueillies sur le site 2 – cf. § 5.2.

5.2. SITE 2 : LA GRANGE – HABITATION M. LECOMTE

5.2.1. RESULTATS 2006-2007

Les quatre forages réalisés sur la propriété de M. Lecomte n'ont pas rencontré de cavité. L'analyse des données recueillies est, en tous points, similaire à celle du site 1 précédent. On notera la présence d'un banc résistant sous l'habitation situé entre 20 et 25 m de profondeur. Sa continuité sera confirmée en aval pendage par une alternance de bancs métriques résistants rencontrés entre 24 et 34 m de profondeur sur les sondages réalisés en 2008.

5.2.2. RESULTATS 2008

Pour répondre aux mêmes interrogations que pour le site 1, une série de trois sondages (n° 3003, 3004 et 3005) a été réalisée dans le pré situé à une vingtaine de mètres à l'est de l'habitation (M. Lecomte ayant également refusé de nouveaux forages sur sa propriété). Chacun des sondages ont rencontré une cavité au volume important respectivement à 40, 39 et 41,8 m⁴ de profondeur. La puissance exploitée est comprise entre 5 et 6 m, voir 8 m dans la chambre observée par le sondage 3005. Les auscultations par sonar montrent que les deux premiers sont tombés dans deux chambres (avec piliers) à fort pendage (55 – 60°) et orientées dans la ligne de plus grande pente à N 20°. La troisième cavité (chambre unique) rencontrée par le dernier sondage présente un faible pendage (environ 20°) et est orientée N 110°, en direction de l'habitation. Le report des coupes sonar⁵ des trois sondages sur le plan des travaux miniers confirme (cf. planche 1, annexe 2) :

- le schéma général des travaux miniers ;
- le bon calage du plan réduisant, à cet endroit, la marge d'incertitude de 10 à 2 m (cf. § 6.1.).

De même, les observations confirment les hypothèses sur la géologie locale proposées par l'INERIS, en particulier, sur le fait que les sites 1 et 2 se localisent à proximité d'un réseau de failles décalant et dédoublant le gisement, les rotations et la diminution des pendages correspondant à l'effet de cisaillement géologique lié au jeu de ces failles (crochons de faille). Ce résultat permet de réévaluer les profondeurs des travaux miniers dans ce secteur, notamment sur la limite de 50 m qui se trouve sensiblement décalée vers l'ouest de plus de 30 mètres.

Ainsi, l'interprétation de ces données indique que la chambre d'exploitation observée par le sondage n° 3005, se situe sous l'habitation de M. Rogue entre 30 et 33 m de profondeur.

⁴ En tenant compte d'une inclinaison du sondage 3005 de 82° vers le nord

⁵ Nous rappelons que les coupes sonar du sondage 3004 ont été rotées de 45° dans le sens anti-horaire (cf. § 4.3.).

5.3. SITE 3 : LE BRULE EST – HABITATION M. GUILLAUMIN

Une étude géologique précise réalisée par le BRGM dans la phase de préparation aux reconnaissances de 2006 a montré que l'habitation se situait au-delà (à l'ouest) de la zone des minières (grattages à l'affleurement) et donc en dehors des travaux miniers (cf. [4]). Seule une partie du jardin se situe sur ces anciennes minières remblayées. Dès lors, aucune reconnaissance complémentaire n'a été engagée, **tout risque pour l'habitation étant écarté.**

5.4. SITE 4 : LE BRULE EST – HABITATION M. BOUTRY

Le premier (n° 4-SD1) des trois sondages réalisés dans le pré à l'ouest de l'habitation a rencontré (cœur de chambre) une cavité à 25 m de profondeur. En décembre 2006, cette cavité a pu être auscultée par laser, le niveau d'eau étant à 27 m de profondeur. Cette auscultation n'a malheureusement pu être couplée à une vidéoscopie, l'eau étant remontée de plus d'un mètre dans le forage entre décembre 2006 et janvier 2007. Néanmoins, les coupes laser montrent que la cavité correspond à une chambre d'exploitation bordée par des alignements de piliers dans le sens du pendage et dont les dimensions sont conformes au plan des travaux miniers (cf. planche 2, annexe 2⁶). Son pendage est compris entre 40 et 45°, pour une direction de plus grande pente de N 10°. La puissance exploitée mesurée est de 3 m.

Par report des coupes laser sur les plans et extrapolation des données d'auscultation, il apparaît, à pendage constant, que les travaux miniers se situent entre 36 m et 48 m sous l'habitation. Pour le hangar accolé à l'habitation, les travaux miniers se situent entre 30 et 36 m de profondeur. Ces travaux correspondraient à une base de chambre (juxtaposée à celle auscultée) jusqu'à la galerie de niveau 200.

5.5. SITE 5 : LES LANDES – HABITATION MME ROBILLARD

5.5.1. RESULTATS 2006-2007

La présence d'un banc résistant situé à 30 m de profondeur et impossible à forer par roto-percussion à l'eau n'a pas permis au sondage réalisé (n°5-SD1) sur la propriété de Mme Robillard de déboucher dans les travaux miniers.

5.5.2. RESULTATS 2008

A l'image des autres sites, un sondage (n° 3001) a été réalisé en 2008 au même endroit que celui de 2006. Ce forage a rencontré une cavité à 35,8 m de profondeur. L'auscultation au sonar permet de confirmer la géométrie globale des travaux miniers, bien que le schéma du plan ne soit pas scrupuleusement respecté (chambre plus large que prévue - cf. planche 2, annexe 2). Le pendage de la chambre est compris entre 55 et 60° pour une direction de plus

⁶ La géométrie du plan de mine n'est pas totalement respectée (décalage du levé de la cavité de moins de 10 m vers l'ouest) probablement due à l'incertitude du levé GPS du sondage.

grande pente N 30°. La puissance exploitée est de 5 m. Ainsi, les travaux miniers se situent entre 42 et 59 m sous l'habitation.

5.6. SITE 6 : LES LANDES – HABITATION MME MARIE

Les deux sondages réalisés en 2006 dédiés à la reconnaissance des travaux à l'aplomb de ce site n'ont pas rencontré de vides. Néanmoins, l'INERIS émettait l'hypothèse qu'après analyse détaillée du plan de mine de ce secteur, les travaux miniers situés à l'aplomb de l'habitation pouvaient se trouver à plus de 50 m de profondeur. Cette hypothèse devait être vérifiée à partir des éléments retrouvés sur les sites de La Grange (Riautés) et des Landes reconnus en 2008.

Les données recueillies par les sondages de 2008 ont montré que le calage du plan de mine présente une bonne précision au niveau des secteurs investigués. De plus, les auscultations par laser ou sonar confirment globalement le tracé des travaux miniers, en terme de géométrie des travaux, pendage et épaisseur de couche exploitée.

Ainsi, après vérification, il apparaît que l'habitation de Mme Marie se situe au droit de travaux miniers (galerie de base et tête de chambre inférieure, cf. planche 1, annexe 2) à une profondeur comprise entre 70 et 90 m. Ceci correspond à une exploitation dont le pendage a été calculé à 50°. Par contre, le hangar situé dans le champ à l'ouest de l'habitation, se situe au droit d'une tête de chambre plus superficielle dont la profondeur est estimée à 17 m.

5.7. SITE 7 : LA PILLIERE – HABITATION MME LAUMAILLER

Deux sondages ont été réalisés en 2006 sur ce site. Le premier (7-SD1) a rencontré des terrains décomprimés entre 5 et 8 m de profondeur. Le passage caméra n'a pas mis en évidence l'existence d'un vide franc. Le fond de forage est constitué de terrains déstructurés laissant à penser à un passage de faille ou la bordure d'une ancienne minière remblayée.

Le second forage réalisé à 3 m au sud de l'habitation a rencontré une cavité à 17 m. L'auscultation au laser et un passage caméra permet d'apprécier l'organisation des travaux souterrains montrant des chambres à fort pendage séparées par des piliers de 4 à 5 m de côté (cf. Figures 10 et 11). Les parements (couronne, toit et mur) ainsi que le pilier paraissent plutôt sains. On note toutefois une infiltration d'eau qui s'écoule par l'espace annulaire du forage (entre le tube PVC et la roche). L'emplacement du forage marque la limite amont de la chambre (tête de chambre), cette dernière se situant ainsi à l'aplomb du pignon sud de l'habitation (cf. planche 3, annexe 2). L'absence de détails sur le plan de mine (seules les galeries de niveau sont tracées) à cet endroit ne permet pas de vérifier son calage. Le pendage mesuré est de l'ordre de 30° pour une orientation dans l'axe de plus grande pente de N110°, soit une trentaine de degrés plus au sud que l'orientation globale du gisement attendue dans ce secteur.

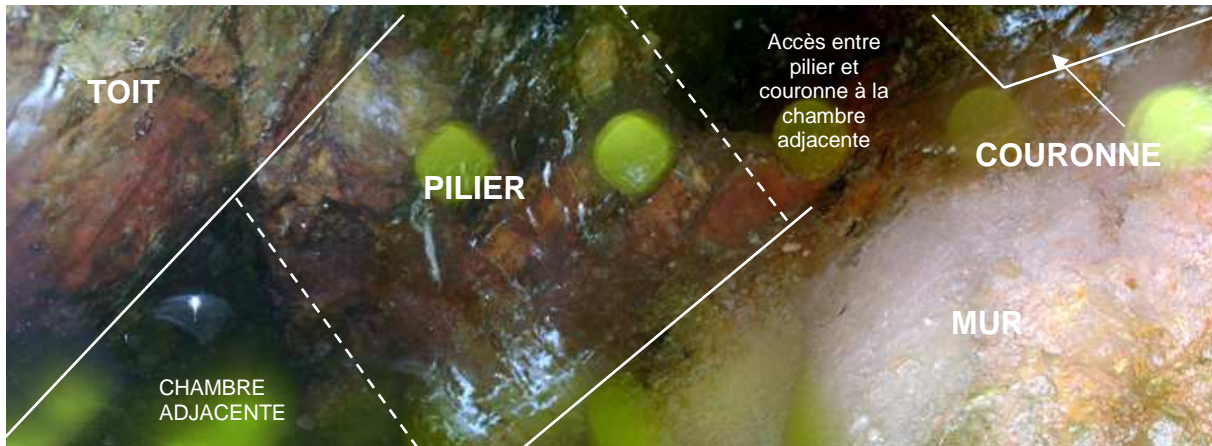


Figure 10 : Photographie depuis le sondage 7-SD2 de la cavité (chambres et piliers abandonnés) au droit de l'habitation de la Pilière (Site 7 – La Ferrière aux Etangs) - Vue vers le sud-ouest

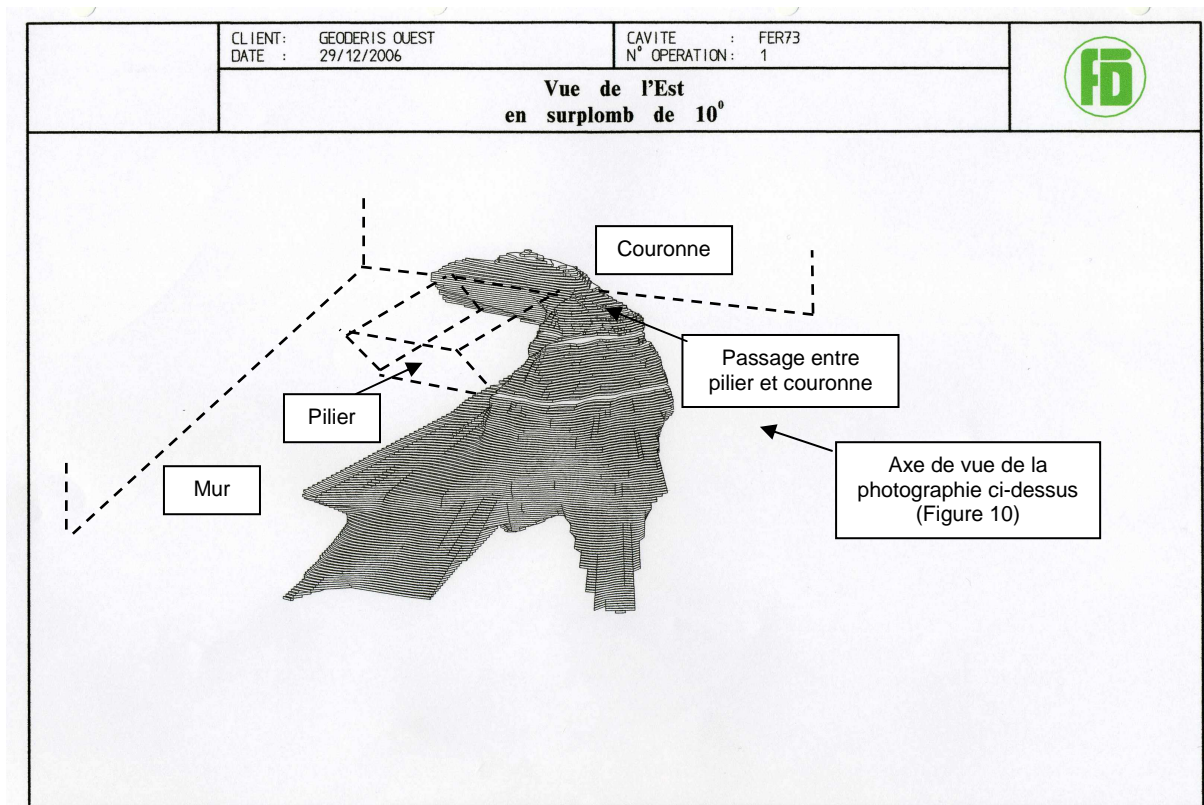


Figure 11: Partie visible en 3D de la chambre d'exploitation depuis le sondage 7-SD2 au droit de l'habitation de la Pilière (Site 7 – La Ferrière aux Etangs)

6 ANALYSE DES ALEAS ET DES RISQUES RESIDUELS MOUVEMENTS DE TERRAIN

On rappelle que sur les sites étudiés, l'aléa effondrement localisé sur travaux retenu en 2006 avait été jugé moyen jusqu'à 50 m de profondeur, compte tenu des données minières en notre possession. Les mécanismes retenus pour cet aléa étaient :

- la rupture de la tête de chantier ou « couronne » très proche de la surface ;
- la rupture du toit d'une chambre d'exploitation liée à sa grande portée due à une trop importante exploitation ou à la suite d'une rupture de pilier trop défruité et surchargé.

L'évolution notable de la connaissance sur les caractéristiques des travaux miniers et des terrains encaissants permet à ce jour de réévaluer l'aléa en terme d'emprise et d'amplitude.

6.1 SUR LA QUALITE DES TERRAINS DE RECOUVREMENT

Bien qu'ils ne remplacent pas des mesures réalisées à partir d'échantillons issus de sondages carottés (RQD, essais mécaniques,...), les sondages destructifs permettent en partie d'apprécier, par une approche qualitative, la résistance d'une roche. Les sondages destructifs réalisés sur les sites ont permis de constater la relative bonne tenue de l'encaissant schisteux par une résistance de la roche à la foration mais aussi un état de fracturation faible sur ces sondages qui traduisent l'absence de discontinuité régulière non colmatée.

De plus, nous rappelons que la plupart des sondages réalisés en 2006 par roto-percussion à l'eau ont été confrontés entre 25 et 30 m de profondeur à des bancs de roches très durs empêchant tout avancement de l'outil de forage vers les travaux miniers situés quelques mètres en-dessous. En 2008, les sondages réalisés au marteau fond de trou à l'air (outillage plus robuste et adapté à la foration de roches très dures), ont confirmé la présence à la profondeur voisine de 30 m (parfois moins) d'une alternance de schistes et de bancs gréseux métriques très durs traduisant une grande résistance mécanique de ces terrains. Toutefois, en deçà de 30 m de profondeur, ces bancs, bien que géologiquement présents, offrent une résistance légèrement diminuée (similaire à celle des schistes) ne permettant plus de les caractériser de bancs raides (cf. Figure 12).

Ainsi, l'ensemble de ces constatations permet de caractériser l'état géo-mécanique du recouvrement comme bon. Néanmoins, il reste prématuré de penser, à ce jour, qu'un éventuel fontis initié au sein des travaux miniers, en-dehors des secteurs auscultés, puisse ne pas atteindre à court terme la surface.

6.2 SUR LE NIVEAU DE L'ALEA

Le *niveau* de l'aléa est fonction d'une prédisposition et d'une intensité du phénomène redouté. L'étude d'aléas 2005 avait considéré sur La Ferrière-aux-Etangs :

- une intensité modérée d'après les observations de désordres, les configurations de travaux considérés comme vides (non remblayés) et aux volumes importants et,
- une prédisposition peu sensible à sensible selon la profondeur des chantiers⁷, la configuration des travaux (taux de défrètement et portée de toit plus ou moins importants) et les mécanismes de rupture considérés. L'évaluation de la prédisposition a tenu également compte de facteurs aggravants tels que la présence de faille principale fragilisant le recouvrement et la présence de manière superficielle de la nappe qui, dans sa zone de battement annuel, diminue la résistance mécanique des terrains (piliers et/ou toit des chambres).

Les investigations réalisées en 2006 et 2008 ont montré que sur les sites reconnus :

- la géométrie attendue des travaux miniers, en termes d'orientation, de profondeur, de dimensions et de puissance exploitée était respectée ;
- l'édifice minier présente un bon état général ;
- la présence d'un niveau ou d'une série de 2 à 3 bancs très résistants et épais (supérieur au mètre) dans le recouvrement sus-jacent et immédiat aux travaux miniers, dès lors que leur profondeur excède 30 m.

En tenant compte de ces nouvelles données, nous retenons **sur les sites investigués** :

- une intensité **sensible**, de par la confirmation des configurations des travaux observés ;
- une prédisposition, d'après les caractéristiques des sites observés :

Prédisposition	Profondeur des travaux	Type d'exploitation
Peu sensible	30 m < P < 50 m	Chambre isolée par piliers massifs avec portée toit < 10 m
Sensible	P < 30 m	Chambre isolée avec portée toit < 10 m
	30 m < P < 50 m	Chambres et piliers abandonnés

Tableau 2 : Caractéristiques des niveaux de prédisposition retenus pour les sites d'enjeux bâtis sur La Ferrière aux-Etangs (61)

⁷ La prédisposition a été considérée comme nulle au-delà de 50 m de profondeur et sensible entre 0 et 50 m.

Les niveaux d'aléa sont donc nouvellement retenus pour chaque site :

N° Site	Intensité	Prédisposition	Niveau d'aléa
1	Modérée	Sensible	Moyen
2	Modérée	Sensible	Moyen
3	Nulle	Nulle	Nul
4	Modérée	Peu Sensible	Faible
5	Modérée	Peu Sensible à Sensible	Faible à Moyen
6	Nulle	Nulle	Nul
7	Modérée	Sensible	Moyen

Tableau 3 : Nouvel aléa retenu par sites d'enjeux bâtis (habitation) sur La Ferrière aux Etangs (61)

6.3 SUR L'EXTENSION ET L'EMPRISE DE L'ALEA

L'*extension* en surface des zones d'aléas a pu être réévaluée, grâce à une meilleure précision :

- de la position exacte des travaux les plus proches de la surface **au niveau des sites investigués**. La marge d'incertitude associée a donc été ramenée de 10 m (2006) à 2 m (valeur correspondant à l'imprécision de l'orthophotoplan). La valeur de 10 m est maintenue pour le reste des zones ;
- de l'épaisseur des terrains altérés en surface. L'observation des paramètres de sondages destructifs montre que l'épaisseur des terrains altérés superficiels est comprise entre 2 et 6 m, exceptionnellement 7 m sur le site 5. La marge d'influence, côté aval pendage, a donc été ramenée de 10 m (2005) à 6 m sauf pour le site 5 où elle est de 7 m. Côté amont, elle est maintenue à 0 m toujours en conservant dans l'aléa la zone d'affleurement de la couche de minerai (cf. § 2.).

Les autres paramètres de l'étude d'aléas (largeur, pendage et profondeur des travaux - cf. § 5.2.2.) ont été pris en considération dans le traçage de la nouvelle zone d'aléa. Conservant les mêmes mécanismes de rupture (rupture de la couronne et zone de rupture potentielle du toit), l'emprise de l'aléa effondrement localisé a été réévaluée en considérant le schéma ci-après (cf. Figure 12).

En surface, ces modifications engendrent pour l'ensemble des sites une réduction du zonage de l'aléa. La nouvelle cartographie de l'aléa « mouvement de terrain » est présentée en annexe 3 de ce rapport.

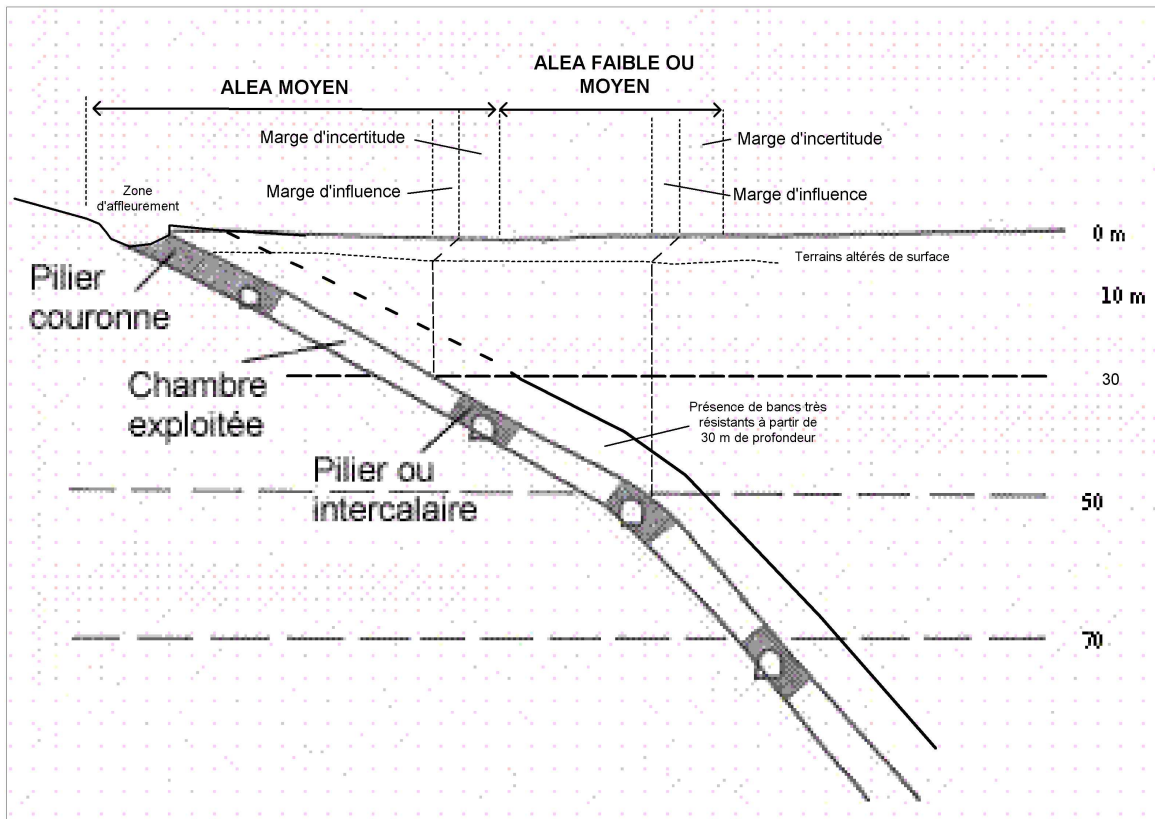


Figure 12 : Nouveau zonage de l'aléa effondrement localisé à l'aplomb des travaux peu profonds sur les sites investigués

6.4 SUR LE RISQUE POUR LES BIENS ET LES PERSONNES

Les investigations complémentaires ont permis de réévaluer le zonage de l'aléa effondrement localisé à proximité des enjeux, dans le sens global d'une réduction de son extension et/ou de son niveau. Ainsi les maisons d'habitation des sites 3 et 6 ne sont plus incluses dans le zonage : **tout risque est donc écarté pour celles-ci**⁸. Néanmoins, en considérant les maisons d'habitation comme un type d'enjeu vulnérable, les autres sites maintenus en zone d'aléa « effondrement localisé » se situent en zone de risque, suivant :

⁸ A noter que ces habitations se situent en-dehors de tout autre aléa « mouvements de terrain » retenu à La Ferrière-aux-Etangs (aléa affaissement, tassement ou glissement de pente, cf. [1])

N° Site	Type Enjeu	Niveau d'aléa	Niveau de risque
1	Habitation + voirie	Moyen	Moyen
2	Habitation + garage + voirie	Moyen	Moyen
3	Habitation	Nul	Nul
4	Habitation + hangar + voirie	Faible	Faible
5	Habitation + hangar + voirie	Faible à Moyen	Faible à Moyen
6	Habitation + hangar + voirie	Nul	Nul
7	Habitation + hangar	Moyen	Moyen

Tableau 4 : Evaluation du risque par sites d'enjeux (bâti) sur La Ferrière Aux Etangs (61)

Le maintien des sites en aléa moyen, bien que les résultats des investigations permettent de conclure qu'il n'existe pas de danger imminent, constitue une source importante de risque pour les personnes et les habitations concernées. La présence de cavités à faibles profondeurs présentant des volumes importants, génèrerait en cas de rupture des cratères aux dimensions (diamètre et profondeur) très dommageables, nécessitant des actions de mesures de prévention ou de protection.

7 PROPOSITION DE MESURES POSSIBLES DE PREVENTION OU DE PROTECTION

7.1 MESURE DE PREVENTION : SURVEILLANCE

L'étude de risque sur la Ferrière-aux-Etangs nous conduit à recommander par site retenu en risque moyen, d'une manière générale et a minima, des mesures de surveillance périodiques par auscultation laser ou sonar depuis la surface (par des sondages – cf. Tableau 5 et annexe 1). Ce type de surveillance permet de constater l'évolution d'une cavité par comparaison périodique des coupes laser ou sonar et identification de différence de géométrie ou de volume. Cependant, la précision des enregistrements laser ou sonar rend difficilement interprétable la géométrie de la cavité au-delà d'une simple évaluation de son état général. Pour cette raison, ces auscultations sont à coupler, lorsque cela est possible (cavité hors d'eau), avec une vidéoscopie de la cavité. La périodicité recommandée est annuelle avec un coût compris entre 1 500 et 2 000 euros HT à chaque auscultation ou vidéoscopie (coûts d'analyse et d'expertise des images non compris). Néanmoins, en cas d'absence d'évolution après plusieurs auscultations, cette périodicité pourrait être élargie à 2 ans voire plus en particulier pour le site 5 retenu que partiellement en risque moyen.

Pour le site 7, une autre option de surveillance plus efficace et à moindre coût pourrait être envisagée. En effet, la surveillance des travaux sous l'habitation de Mme Laumailier peut être possible par des visites annuelles en souterrain⁹. Cependant, ces visites ne peuvent être réalisées que dans des conditions optimales de basses eaux, c'est-à-dire un passage en novembre ou décembre, les années à faible pluviométrie et avec un assez bon fonctionnement de l'exhaure au travers bancs 220. Ces conditions ne garantissent donc pas la périodicité annuelle de la surveillance. Pour cette raison, nous garderons pour mémoire cette option.

Remarque : Il est à noter que mis à part le site 7 (habitation de Mme Laumailier au lieu-dit la Pillière) où les travaux miniers sont peu profonds et toujours hors d'eau, les autres cavités à ausculter se situent dans la zone de battement de la nappe. Suivant les périodes choisies de surveillance, il est recommandé de vérifier au préalable le niveau d'eau dans ces cavités afin d'opter pour des auscultations sonar et/ou laser.

Par ailleurs, afin d'assurer une bonne qualité de surveillance sous les habitations, il est nécessaire sur certains sites de réaliser des sondages complémentaires dédiés à cette surveillance. Concrètement, par site, le tableau 5 suivant synthétise les actions de surveillance recommandées par site retenu en zone de risque. Le lecteur peut se reporter au tableau de l'annexe 1 pour plus de détails.

⁹ Si cette option est retenue, les visites devront être réalisées dans les conditions optimales de sécurité pour les personnes. En particulier, les équipes devront impérativement être équipées de tous les moyens nécessaires en terme de protection contre les risques liés à l'atmosphère de la mine, aux chutes dans les chambres inclinées et vis-à-vis des chutes de blocs. Des aménagements seront au préalable nécessaires notamment au niveau de(s) l'entrée(s) (talutage, pose d'une grille ou porte scellée et cadénassée, cf. § 8.) et dans les chambres (pose de ligne de vie). Il serait, de toute manière, nécessaire d'envisager un appui extérieur type GRIMP pour accéder à cette zone.

N° Site	Niveau de Risque	Travaux complémentaires	Surveillance	N° planche
1	Moyen	sondage à réaliser dédié à la surveillance de l'habitation	passage annuel sonar par ce sondage	1
2	Moyen	sondage supplémentaire optionnel à réaliser pour améliorer la surveillance sous l'habitation	passage annuel sonar par le sondage n° 3005	2
4	Faible	-	Pas de surveillance	2
5	Faible à Moyen	sondage optionnel à réaliser pour améliorer la surveillance sous l'habitation	passage annuel sonar par le sondage n° 3001 pouvant être étendu à 2 ans Possibilité de visites souterraines sous certaines conditions (pour mémoire)	2
7	Moyen	sondage supplémentaire à réaliser dédié à la surveillance de l'ensemble de l'habitation	passage annuel laser + vidéoscopie par le sondage n° 7-SD2 et sondage complémentaire	3

Tableau 5 : Actions de surveillance recommandées par site retenu en risque sur La Ferrière-aux-Etangs (61)

7.2 MESURE DE PROTECTION : TRAITEMENT

En cas d'évolution d'une cavité détectée lors de la surveillance, le traitement d'un site peut s'avérer alors nécessaire. Dans le cas des habitations soumises à l'aléa d'effondrement localisé, l'objectif recherché est l'interdiction de tout mouvement perceptible en surface nécessitant ainsi une méthode de traitement pérenne à long terme.

7.2.1 COMBLEMENT

Les méthodes de traitement par remplissage des vides (ou comblement) représentent des solutions actives de traitement des cavités souterraines instables. Pour obtenir une mise en sécurité pérenne, il est nécessaire que l'ensemble des vides qui concerne l'enjeu soit comblé.

Du fait de la configuration très pentée du gisement et de la présence d'eau, les méthodes de remblayage humide ou par coulis sont difficiles à mettre en œuvre, coûteuses et sont donc à envisager au cas par cas. De plus, la présence de la nappe, dont l'exhaure permanent se situe au niveau du travers bancs 220, rend nécessaire l'utilisation de matériau inerte afin d'éviter le risque de pollution. Pour certains secteurs, un remblayage par déversement gravitaire suivi d'un clavage pourraient apporter une solution à la mise en sécurité des enjeux de surface. Afin d'évaluer le coût de cette technique de mise en sécurité, nous avons retenu :

- pour une première phase, un comblement gravitaire à l'aide d'un matériau d'une granulométrie adaptée au déversement sous eau, sur une base de 100 € HT¹⁰ le m³ ;
- pour une deuxième phase, un clavage afin d'éviter tout mouvement de la surface au droit des enjeux, sur la base de 200 € HT le m³.

L'évaluation des volumes à mettre en œuvre serait calculée suivant la règle de 80% du volume comblé en phase 1 et 20 % en phase 2.

¹⁰ Coûts 2007-2008.

A cela, il faut ajouter les problèmes de maîtrise et du contrôle d'un comblement en l'absence de connaissance parfaite des cavités, dont les possibilités :

- de fuite dans les chambres latérales ;
- de fuite dans les étages inférieurs en l'absence de présence du stot de la galerie de base de chambre (niveau 200) ou postérieurement à sa rupture liée à la surcharge due au matériau apporté ;
- d'un remblayage incomplet notamment dans les zones masquées par les piliers ou dans les cas d'une pente insuffisante à un bon écoulement des matériaux (exemple du site 2 où le pendage est de l'ordre de 20°).

Des solutions de remblayage par des matériaux légers ou des mousses expansives pourraient être envisagées. Cependant leur coût est élevé et leur stabilité dans le long terme n'est pas connue. A titre d'exemple, le coût d'un remblayage par des mousses expansives est de l'ordre de 200 € HT le m³.

Chaque site nécessitera donc des études spécifiques de faisabilité.

7.2.2 RENFORCEMENT

Le remblayage des vides pourrait être techniquement difficilement réalisable dans certains secteurs. Il pourrait alors être envisagé de renforcer localement la couverture afin de garantir sa stabilité sur le long terme. Les méthodes envisageables devront être évaluées au cas par cas.

Nous pouvons cependant citer les méthodes type tirants ancrés ou encore le renforcement de la dalle par des micro-pieux afin de créer un effet "voûte" sur les épontes.

L'ordre de grandeur du coût de la mise en sécurité d'un pavillon (uniquement le bâtiment sans les terrains autour) par micro-pieux inclinés serait d'environ 100 000 € HT.

8 ANALYSE DU RISQUE CORPOREL

8.1 RAPPEL DES ELEMENTS EN NOTRE POSSESSION

Un **risque corporel** est retenu dès lors qu'un ouvrage minier (puits ou galerie) est pénétrable (ouvert) et, par ce fait, susceptible de nuire à la sécurité des personnes. L'évaluation du niveau de risque dépend du type d'ouvrage (puits ou galerie) et de son accessibilité, de son attractivité et de la fréquentation ou densité de personnes susceptibles d'y pénétrer.

Le tableau 6 suivant synthétise les connaissances sur les ouvrages débouchant au jour de l'ancienne mine de La Ferrière-aux-Etangs. Des recommandations concernant certains d'entre eux sont proposées.

Ouvrage	Coordonnées X, Y	Fonction	Date de fonçage ou mise en service	Diamètre ou section	Profondeur ou longueur (m)	Travaux de fermeture réalisés
Montage de L'Hospice	389417,57 2411109,09	Aérage		0,3 m ²	L = 130 m	Dalle béton armé + évent (réaménagé, non observable)
Montage du Champ Blanc	389661,14 2410559,97	Aérage		2,6 m ²		Ouverture murée + scellement de rails (visible)
Montage des Riautés	389653,81 2410362,8	Aérage		0,9 m ²		Dalle béton armé (non observable)
Montage du Jardin du Brûlé	389741,11 2410223,6	Aérage		8 m ²		Comblement avec gravats, carcasses véhicules (non observable)
Montage du Brûlé	389790,03 2410204,93	Aérage		1,3 m ²		Orifice muré avec ouverture 0,2 × 0,2 m (visible)
Puits n° 2	390170,39 2410270,92	Extraction Aérage	1923	8 m ²	P = 131 m (2 recettes)	Ouvertures murées + scellement de rails (visible)
Montage de La Pillière	390162,95 2409704,38	Aérage	-	4 m ²		Comblement au bull (vestige visible)
Montage de secours	390202,59 2409607,11	Aérage		0,7 m ²		Orifice muré avec ouverture 0,2 × 0,2 m (non visible)
Puits Pralon	390411,79 2409427,24	Extraction	1939	4,5 m	P = 470 (6 recettes)	Dalle béton + trappes accès (visible)
TB 220	389192,9 2408876,2	Extraction – Exhaure	1905	3 × 4	L = 600 m	Tampons béton + serrement hydraulique probable (visible)
Puits n° 1	390490,27 2408659,64	Extraction Aérage	1918	3,1	P = 150 m	Inconnus (non visible)
Galerie St-André	389868,9 2409172,4	Extraction	1901	1,5 × 1,8		Inconnus (vestiges de l'ancien carreau)
Galerie St-Robert	389854,9 2409139,6	Extraction	1901	1,5×1,8		Inconnus (éboulements à l'entrée)
Montage n° 6	390565,88 2407814,71	Aérage		2,3		Comblement au bull, débouillage en 1982 (visible)
Montage n° 8	391136,65 2407214,26	Aérage		0,8	L = 30 m	Dalle béton armé + évent 2 m (visible)
Puits de La Lande	390939,94 2407422,66	Recherche				Inconnus (dépression à l'endroit supposé du puits)

Tableau 6 : Inventaire, du Nord au sud, des ouvrages débouchant au jour - Mine de La Ferrière-aux-Etangs (cf. [1]) – **En gras : coordonnées des ouvrages retrouvés et levés au DGPS**

8.2 ANALYSE DU RISQUE CORPOREL

A ce jour, la majeure partie des ouvrages est fermée et ne comporte donc pas, en l'état, de risque corporel. Cependant, nous attirons l'attention sur le fait que bon nombre de puits ont été uniquement recouverts de dalles ou entourés de petits bâtiments. La rupture de la tête des puits entraînant tout ou partie des dalles ou des bâtiments étant envisageable, il conviendrait, compte tenu des risques en cas de mouvement de terrain, d'attirer l'attention des propriétaires des terrains concernés de la nécessité du maintien en bon état de ces ouvrages. Néanmoins, si d'éventuels aménagements de ces sites étaient envisagés, une mise en sécurité pérenne de ces ouvrages devrait être réalisée.

Il en est de même pour l'effondrement (débourrage en 1982) du montage n° 6, situé au nord de la forêt de la Lande Menue sur la commune de la Coulonche. Le cratère est clos d'un grillage qui était en bon état en 2005 (cf. [1]). Il conviendrait de maintenir le bon état de ce grillage.

Au moins un ouvrage n'est pas correctement fermé et demeure pénétrable. Il s'agit du montage de secours situé à une centaine de mètres au sud de l'habitation de la Pillière. Ce montage est partiellement recouvert par une plaque de tôle posée à même un talus. C'est par cet ouvrage que la reconnaissance visuelle des travaux miniers a été réalisée en juin 2006 et que des visites sont annuellement organisées par des spéléologues. Ces derniers nous ont oralement indiqué l'existence d'un autre ouvrage qui permet l'accès à la mine sans pour autant nous le localiser (il est probable que cet accès ne soit pas l'un des ouvrages connus et référencés sur nos cartes).

Pour conserver un accès aux travaux souterrains (surveillance éventuelle) et de manière à sécuriser cet accès, nous recommandons pour le montage de secours la mise en place d'une porte (ou regard) cadénassée en lieu et place de la plaque actuelle. Cela nécessitera peut-être un aménagement préalable du talus.

Par ailleurs, le montage du Brûlé est fermé par un mur en parpaings. Cependant, d'après les éléments à notre disposition, une trappe au pied du mur pourrait permettre l'accès à ce montage. A priori, cet ouvrage ne présente pas de risque corporel sous réserve que cette trappe ne permette pas l'accès à celui-ci et que le mur soit conservé en l'état (possibilité de volonté de casser le mur pour accéder au montage).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Rapport GEODERIS 5BNO2200-R01-CF du 09/11/2005. Concessions de La Ferrière-aux-Etangs et Mont-en-Gérôme (Orne). Etude préliminaire à la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM) – Evaluation des risques résiduels liés à l'activité minière – Evaluation et cartographie de l'aléa « mouvement de terrain ».
- [2] Rapport INERIS DRS-07-88121-08270A du 19 octobre 2007. Analyse des risques résiduels et réévaluation de l'aléa suite aux travaux de reconnaissance réalisés sur la concession de la Ferrière-aux-Etangs (61).
- [3] Rapport Francilienne de Forage – Compte rendu factuel n°06.0233 du 20 novembre 2006.
- [4] Rapport BRGM RP-55277-FR de décembre 2006. Suivi de forages destructifs de reconnaissance de travaux miniers à la Ferrière-aux-Etangs (Orne).
- [5] Rapport CEBTP-SOLEN DLH2.7.102-7 du 21/03/2008. Missions d'investigations géotechniques du 3 au 14 mars 2008 (cf. norme NF P 94-500 de décembre 2006 relative aux missions géotechniques) - la Ferrière-aux-Etangs (61).
- [6] Rapport INERIS DRS-08-95816-04410A du 31 mars 2008. Bassin ferrifère de Normandie – Compte rendu de suivi des sondages de reconnaissance des galeries des anciennes mines de la Ferrière-aux-Etangs et de Saint-Clair-de-Halouze (Orne).
- [7] Rapports FLODIM 06-339 et 06-340. Campagne laser image - Décembre 2006, la Ferrière-aux-Etangs.
- [8] Rapport IGC 61-CRQ 129. Vidéo en sondage, (La Pilière – Les Riautés) la Ferrière-aux-Etangs (61) – Janvier 2007
- [9] Rapports FLODIM 08-222, 08-223, 08-224 et 08-225. Campagne sonar - Avril 2008, la Ferrière-aux-Etangs.

ANNEXE 1

**Synthèse des connaissances minières sur les 7 sites investigués
La Ferrière-aux-Etangs (61)**

ANNEXE 2

Planche 1 – Synthèse cartographique des investigations menées sur les sites d'enjeux n° 1, 2 et 6 et mise à jour de l'aléa effondrement localisé

Planche 2 – Synthèse cartographique des investigations menées sur les sites d'enjeux n° 3, 4 et 5 et mise à jour de l'aléa effondrement localisé

Planche 3 – Synthèse cartographique des investigations menées sur les sites d'enjeux n° 7 et mise à jour de l'aléa effondrement localisé

ANNEXE 3 (hors texte)

**Synthèse cartographique des aléas mouvement de terrain
sur le bassin ferrifère de la Ferrière-aux-Etangs**