



RAPPORT D'ÉTUDE

10/05/2010

GEODERIS N2009/013DE-09 NAT 2140

DRS-10-111954-02874A

**Annexe technique au guide d'élaboration des Plans de
Prévention des Risques Miniers**

**Guide d'investigation en zone d'aléa « effondrement
localisé »**

GEODERIS

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Annexe technique au guide d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers

Guide d'investigation en zone d'aléa « effondrement localisé »

GEODERIS - INERIS

PREAMBULE

Ce document est le résultat d'un partenariat entre l'INERIS et GEODERIS.

Le lecteur utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du lecteur. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS et GEODERIS dégagent toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de sa destination initiale.




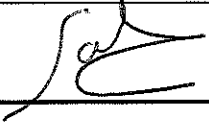
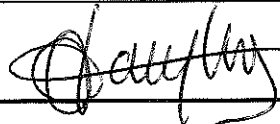
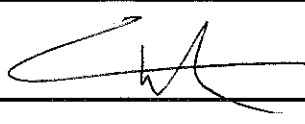
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	T. DELAUNAY	I. VUIDART O. LEFEVRE	H. BAROUDI
Qualité	Ingénieur référent géotechnique à GEODERIS Antenne Ouest	Ingénieurs référents géotechniques à GEODERIS Antenne Est et Sud	Directeur National de GEODERIS
Visa			
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	R. SALMON	X. DAUPLEY	C. FRANCK
Qualité	Ingénieur à l'Unité Risques Géotechniques liés à l'Exploitation du Sous-Sol	Responsable de l'Unité Risques Géotechniques liés à l'Exploitation du Sous-Sol	Délégué Appui à l'Administration de la Direction des Risques du Sol et du Sous-Sol
Visa			

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION.....	5
2	OBJECTIFS DES INVESTIGATIONS.....	5
3	FICHES.....	11
3.1	FICHE N° 1 : ENQUETE ET OBSERVATIONS PREALABLES DE TERRAINS.....	11
3.1.1	<i>Principe.....</i>	11
3.1.2	<i>Objectif.....</i>	11
3.1.3	<i>Éléments dimensionnant.....</i>	11
3.1.4	<i>Technique.....</i>	11
3.1.5	<i>Interprétation des résultats.....</i>	12
3.1.6	<i>Coûts.....</i>	14
3.1.7	<i>Bibliographie.....</i>	14
3.2	FICHE N° 2 : ARCHIVES DE DETAIL (CAS DES GRANDS BASSINS MINIERES).....	15
3.2.1	<i>Principe.....</i>	15
3.2.2	<i>Objectif.....</i>	15
3.2.3	<i>Éléments dimensionnant.....</i>	15
3.2.4	<i>Interprétation des résultats.....</i>	15
3.2.5	<i>Coûts.....</i>	16
3.2.6	<i>Bibliographie.....</i>	16
3.3	FICHE N° 3 : CAMPAGNE DE FORAGES DESTRUCTIFS.....	17
3.3.1	<i>Principe.....</i>	17
3.3.2	<i>Objectif.....</i>	17
3.3.3	<i>Éléments dimensionnant.....</i>	18
3.3.4	<i>Technique.....</i>	19
3.3.5	<i>Interprétation des résultats.....</i>	21
3.3.6	<i>Coûts.....</i>	23
3.3.7	<i>Bibliographie.....</i>	23
3.3.8	<i>Fiche n° 4 : Reconnaissance à la pelle mécanique.....</i>	26
3.3.9	<i>Principe.....</i>	26
3.3.10	<i>Objectif.....</i>	26
3.3.11	<i>Éléments dimensionnant.....</i>	26
3.3.12	<i>Techniques.....</i>	26
3.3.13	<i>Interprétation des résultats.....</i>	29
3.3.14	<i>Coûts.....</i>	29
3.3.15	<i>Bibliographie.....</i>	30
3.4	FICHE N° 5 : CAMPAGNE DE FORAGES CAROTTES.....	30
3.4.1	<i>Principe.....</i>	30
3.4.2	<i>Objectif.....</i>	30
3.4.3	<i>Éléments dimensionnant.....</i>	31
3.4.4	<i>Technique.....</i>	31
3.4.5	<i>Interprétation des résultats.....</i>	32
3.4.6	<i>Coûts.....</i>	35
3.4.7	<i>Bibliographie.....</i>	35
3.5	FICHE N° 6 : ACCES AUX TRAVAUX SOUTERRAINS.....	35
3.5.1	<i>Principe.....</i>	35
3.5.2	<i>Objectif.....</i>	35
3.5.3	<i>Éléments dimensionnant.....</i>	35
3.5.4	<i>Technique.....</i>	36
3.5.5	<i>Inspection des travaux miniers.....</i>	38
3.5.6	<i>Coûts.....</i>	39

3.5.7	<i>Bibliographie</i>	40
3.6	FICHE N° 7 : OUTILS D'AUSCULTATION	41
3.6.1	<i>Principe</i>	41
3.6.2	<i>Objectif</i>	42
3.6.3	<i>Éléments dimensionnant</i>	42
3.6.4	<i>Techniques</i>	43
3.6.5	<i>Interprétation des résultats</i>	46
3.6.6	<i>Coûts</i>	48
3.6.7	<i>Bibliographie</i>	48
3.7	FICHE N° 8 : RADAR (LOCALISATION DE PUIITS).....	48
3.7.1	<i>Principe & Technique</i>	48
3.7.2	<i>Objectif</i>	49
3.7.3	<i>Éléments dimensionnant</i>	49
3.7.4	<i>Interprétation des résultats</i>	49
3.7.5	<i>Coûts</i>	50
3.7.6	<i>Bibliographie</i>	50

1 INTRODUCTION

La réalisation des études d'aléa « mouvements de terrain » sur les anciens bassins miniers montre que le phénomène d'effondrement localisé lié à la présence de travaux souterrains peu profonds, de puits ou de galeries constitue la contrainte majoritaire en terme de constructibilité.

L'objectif de cette annexe, qui sera jointe au Guide d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers, est de préconiser les stratégies et moyens d'investigation des zones d'aléa « effondrement localisé ».

2 OBJECTIFS DES INVESTIGATIONS

La définition du zonage réglementaire au droit des zones d'aléa faible « effondrement localisé » nécessite de revenir à l'évaluation de la prédisposition et de l'intensité :

- des **incertitudes** demeurent après l'étude d'aléa sur les caractéristiques du phénomène redouté : on recommandera alors des **investigations** définies en fonction de la nature de ces incertitudes (objet de la présente annexe) ;
- le phénomène redouté est **d'intensité limitée** : on recommandera des **dispositions constructives** afin d'adapter les projets de construction aux contraintes engendrées par le phénomène ;
- le phénomène redouté est **d'intensité modérée ou élevée** : on recommandera **l'inconstructibilité**.

Lorsque des incertitudes demeurent, après étude d'aléa, on recommandera la réalisation d'investigations complémentaires afin de lever ces incertitudes.

Le Tableau 1 présente les principaux types d'incertitude qui peuvent demeurer suite à une étude d'aléa et l'objectif des investigations à mettre en œuvre pour chacun d'eux.

Type d'incertitude	Exemples types	Objectif de l'investigation
I1 : Incertitude sur l'existence de travaux miniers souterrains : les travaux sont supposés	Pas de plan des travaux disponibles mais indices laissant suggérer leur existence (affleurement et grattages passés...)	Confirmer ou infirmer la présence de travaux sur la zone
I2 : Incertitude sur la localisation des travaux miniers	Coordonnées de puits connues à 20 m près	Préciser la localisation de la source de danger
I3 : Incertitudes sur les caractéristiques des travaux miniers et leur environnement	Données incomplètes ou non précises sur : <ul style="list-style-type: none">• La dimension des ouvrages (hauteur des galeries, diamètre du puits...) ;• La nature des terrains de recouvrement ;• ...	Obtenir les données manquantes ou incomplètes afin de préciser l'aléa.

Tableau 1 : Objectif des investigations à mener en fonction de la nature des incertitudes

Un aléa « effondrement localisé » peut résulter de situations différentes. On peut distinguer :

- Fontis au droit de travaux miniers (par exemple, carrefour en chambres et piliers) (situation A) ;
- Effondrement de la tête d'un puits (situation B) ;
- Fontis initié au toit d'une galerie à faible profondeur (situation C).

En fonction de la situation rencontrée, les moyens à mettre en œuvre afin d'atteindre les objectifs des investigations cités dans le tableau 1 sont différents en nature ou en dimensionnement.

Les tableaux 2 , 3 et 4 présentent les objectifs des investigations à mettre en œuvre respectivement pour les situations de travaux miniers (A), puits (B) et galeries (C) et déclinés en fonction de la nature de l'incertitude (I1, I2 et I3).

En face de chaque objectif, les moyens techniques disponibles sont identifiés et renvoient à des fiches détaillées.

Chaque fiche présente, pour chaque technique :

- Son principe ;
- Les éléments de dimensionnement ;
- Les modalités pratiques ;
- Les résultats et leur interprétation ;
- Des éléments de coûts ;
- Des références à des cas concrets de mises en œuvre récentes ;
- Des références aux normes en vigueur et aux ouvrages généraux d'intérêt.

D'une manière générale, l'emprise de la zone d'investigation doit être définie en prenant en compte les marges d'influence et d'incertitudes de la source de danger présumée. Ces marges d'influence et d'incertitudes sont évaluées dans l'étude d'évaluation de l'aléa.

Source	Résultats des phases informatives et d'évaluation de l'aléa	Type d'incertitude	Phase « Reconnaissance des zones d'aléa »		
			Objectif de la reconnaissance	Exemples de moyens de réalisation	Décision
A Travaux souterrains	La phase informative a établi la présence supposée de vides miniers peu profonds. L'étude d'aléa a établi la possibilité de fontis pouvant se manifester en surface	I1 : Travaux supposés	Confirmer ou infirmer la présence de vides souterrains ou d'indice (gisement, minéralisation, affleurement...). En cas de confirmation, retour à (I3)	<ul style="list-style-type: none"> • Observations de terrain (position réelle des affleurements si possible, autres indices, recherche auprès des riverains) (voir fiche n° 1) • Archives de détail pour les grands bassins miniers (voir fiche n° 2) • Campagne de forages destructifs (voir fiche n° 3) • Tranchées à la pelle mécanique (voir fiche n° 4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Si l'absence de vide est démontrée, l'aléa est nul sur la zone investiguée. • Si l'absence de vides reste supposée sans qu'aucun élément supplémentaire n'ait pu être apporté, il reste un aléa faible (prédisposition très peu sensible) ou toute autre dénomination qui incite à la vigilance lors d'une construction... si l'intensité peut être modérée alors il est incité d'interdire la construction • Sinon, voir (A-12)
	La phase informative a établi la présence avérée de vides miniers peu profonds. L'étude d'aléa a établi la manifestation possible de fontis pouvant se manifester en surface	I2 : Incertitude de localisation	Préciser la localisation des vides souterrains	<ul style="list-style-type: none"> • Campagne de forages destructifs (voir fiche n° 3) 	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacer le projet en zone non soumise à l'aléa • Si pas possible, (A-13)
		I3 : Incertitude sur les caractéristiques des travaux ou leur environnement	Caractériser les vides souterrains afin de réévaluer l'aléa en identifiant a minima la profondeur, la hauteur de vide, le volume et la géométrie, si possible l'état des cavités	<ul style="list-style-type: none"> • Laser/Vidéoscopie ou sonar (voir fiche n° 7) • <i>Campagne de forages destructifs ou carottés complémentaires, si nécessaire (voir fiches n° 3 et 5)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Ré-évaluer l'aléa compte tenu des informations acquises sur la géométrie, le volume... des cavités

Tableau 2 : Objectifs des investigations pour des travaux souterrains

Source	Résultats des phases informatives et d'évaluation de l'aléa	Type d'incertitude	Phase « Reconnaissance des zones d'aléa »		
			Objectif de la reconnaissance	Exemples de moyens de réalisation	Décision
B Puits	La phase informative a établi la présence supposée de puits. L'étude d'aléa a établi la possibilité d'un effondrement localisé lié à la présence de puits et/ou de ses galeries de service.	I1 : Présence d'un puits supposée ou très mauvaise localisation de ce dernier (ordre de grandeur : centaine de mètres)	<ul style="list-style-type: none"> • Confirmer ou infirmer la présence du puits • Vérifier l'existence de galerie de service associée 	<p>Concernant le puits :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observations de terrain (voir fiche n° 1) • Archives de détail pour les grands bassins miniers (voir fiche n° 2) • Décapage et fouille à la pelle mécanique (voir fiche n° 4) • Méthode Radar (voir fiche n° 8) <p>Concernant les éventuelles galeries de service :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Forages si puits fermé, si puits ouvert (laser/vidéo ou sonar dans la colonne du puits) pour galerie. (voir fiches n° 3 et 7) <p><i>Attention : un détournage sur 5 / 10 m de profondeur qui n'indique pas de galerie n'est pas suffisant : les galeries entre 10 et une trentaine de mètres de profondeur peuvent, selon les contextes, présenter des risques fontis.</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si l'absence de puits et de galeries de service est démontrée, l'aléa est nul sur la zone investiguée. • Sinon, voir (B-I2)
	La phase informative a établi la présence avérée d'un puits. L'étude d'aléa a établi la manifestation possible d'un effondrement localisé lié à la présence du puits et/ou de ses galeries de service.	I2 : Incertitude de localisation (ordre de grandeur dizaine de mètres)	<ul style="list-style-type: none"> • Préciser la localisation du puits • Préciser la localisation des galeries de service du puits 	<ul style="list-style-type: none"> • Décapage et fouille à la pelle mécanique (voir fiche n° 4) • Forages si puits fermé, si puits ouvert (laser/vidéo ou sonar dans la colonne du puits) pour galerie (voir fiches n° 3 et 7). • Sondage à la trarière 	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacer le projet en zone non soumise à l'aléa • Prévoir la mise en sécurité (clôture, géogrille...) à proximité de la zone d'emprise du puits et de ses éventuelles galeries de service.
		I3 : Incertitude sur les caractéristiques du puits ou son environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Préciser le volume du puits ou de sa partie non remblayée • Caractériser l'état du puits (remblayage, vide, fermeture, parois) et la nature géologique des terrains en tête du puits pour réévaluer l'aléa en précisant la nature du traitement, état du puits, la géologie des terrains de surface • Caractériser l'état des galeries de service du puits (remblayage, ouverture, profondeur) et leur état 	<ul style="list-style-type: none"> • Laser/Vidéoscopie ou sonar (voir fiche n°7) • Campagne de forages destructifs ou carottés complémentaires, si nécessaire (voir fiches n° 3 et 5) • Pressiomètres pour caractériser les terrains en tête de puits ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Ré-évaluer l'aléa compte tenu des informations acquises sur la géométrie, le volume des cavités

Tableau 3 : Objectifs des investigations pour des puits

Source	Résultats des phases informatives et d'évaluation de l'aléa	Type d'incertitude	Phase « Reconnaissance des zones d'aléa »		
C Galerie	La phase informative a établi la présence supposée de galeries minières peu profondes. L'étude d'aléa a établi la manifestation possible de fontis de petit diamètre en surface	I1 : Galerie supposée	Confirmer ou infirmer la présence de galerie(s)	<ul style="list-style-type: none"> • Observations de terrain (voir fiche n° 1) • Archives de détail pour les grands bassins miniers (voir fiche n° 2) • Campagne de forages destructifs (voir fiche n° 3) 	<ul style="list-style-type: none"> • Si l'absence de vide est démontrée, l'aléa est nul sur la zone investiguée. • Sinon, voir (1)
	La phase informative a établi la présence avérée d'une ou d'un réseau de galeries. L'étude d'aléa a établi la manifestation possible de fontis de petit diamètre en surface	I2 : Incertitude de localisation	Préciser la localisation de la ou des galerie(s)	<ul style="list-style-type: none"> • Campagne de forages destructifs (voir fiche n° 3) 	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacer le projet en zone non soumise à l'aléa
		I3 : Incertitude sur les caractéristiques de la galerie ou son environnement	Caractériser la ou les galeries (ouverture, remblayage, profondeur, état) afin de réévaluer l'aléa	<ul style="list-style-type: none"> • Campagne de forages destructifs avec enregistrements de paramètres (voir fiche n° 3) • Laser/Vidéoscopie ou sonar (voir fiche n° 7) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ré-évaluer l'aléa compte tenu des informations acquises sur la géométrie, le volume... des cavités

Tableau 4 : Objectifs des investigations pour des galeries

3 FICHES

3.1 FICHE N° 1 : ENQUETE ET OBSERVATIONS PREALABLES DE TERRAINS

3.1.1 PRINCIPE

L'enquête de terrain s'appuie sur les informations disponibles dans l'étude d'aléa. Néanmoins, une carte d'aléa est établie à partir d'une base documentaire complétée d'observations de terrain réalisées à l'échelle de la mine ou du bassin minier. Il en résulte ainsi des incertitudes, par exemple sur des travaux miniers suspectés. C'est pourquoi, en préalable de toute investigation complémentaire au niveau d'un projet, une enquête locale peut permettre de collecter des indices complémentaires qui viendraient préciser ces données.

3.1.2 OBJECTIF

- Apprécier la présence potentielle de travaux miniers ;
- Préciser les données informatives visant à réduire les éventuelles incertitudes de l'aléa au niveau d'un projet.

3.1.3 ELEMENTS DIMENSIONNANT

Surface de prospection

Une enquête de terrain dépend de la surface à prospector. En s'appuyant sur les informations disponibles sur les travaux miniers suspectés ou non dans l'étude d'aléa, l'emprise de la prospection, sur et autour du projet, doit être suffisante pour collecter le maximum d'indices avant d'opter pour un type d'investigation.

Contexte de prospection

Du contexte dépend la stratégie de prospection. En milieu urbain, seule une enquête de voisinage peut permettre de collecter des indices. En milieu rural, cette enquête peut être complétée par des observations techniques (cartographie géologique locale ou indices d'ouvrages miniers).

3.1.4 TECHNIQUE

Dans l'après-mine la collecte d'information au niveau local est un atout majeur dans l'acquisition de données. Elle débute par la consultation de la mairie et des ses services techniques qui détiennent le plus souvent des informations, complétée d'une enquête de voisinage. Les riverains ont généralement une excellente connaissance de « leur terrain » et de son histoire. La démarche reste plus difficile en milieu très urbanisé, le « turn-over » des habitants ne permettant pas la conservation de la mémoire.

Ainsi, les témoignages recueillis sont autant d'indices qui permettent d'orienter les observations propres. Il peut s'agir de la localisation d'un ancien puits, d'un désordre, d'un affleurement géologique directement visible ou repéré par des agriculteurs lors de labour, etc. La limite de cette enquête est la fragilité du témoignage humain, en particulier en ce qui concerne la véracité de l'information, surtout quand elle est ancienne. Toute information orale doit alors être confirmée.

3.1.5 INTERPRETATION DES RESULTATS

La confirmation de l'origine minière des indications fournies ou des observations réalisées dépend de l'expérience de terrain du géologue. En particulier, elle s'appuie sur une bonne connaissance de la géologie locale et du contexte minier (type de gisement, traitement des ouvrages débouchant au jour à l'arrêt des travaux, etc.).

Les indices de terrain peuvent être, outre des effondrements et affaissements, des enclos de taille métrique, des dalles en béton (qui peuvent masquer des puits), des puits maçonnés, des zones remblayées, des zones de végétation particulière pouvant traduire la présence de remblai, des arbres, des bosquets, des dépressions (pouvant correspondre à d'anciens effondrements remblayés), des terrils, des affleurements de minerai ou de roche massive (pouvant traduire un encaissant potentiellement résistant). Ces indices sont parfois omis dans l'enquête orale car non considérés comme pouvant être en liaison avec une exploitation minière.

Appréhender l'environnement physique consiste donc à étudier le contexte topographique, géologique et de l'occupation du sol afin d'en tirer les conclusions quant à l'origine des indices. A titre d'exemple, un arbre isolé ou un bosquet isolé au milieu d'un champ peu traduire la présence d'un ancien puits ou d'un effondrement. Par contre, il faut tenir compte de la possibilité de leurres. Une dépression peut masquer l'ancien emplacement d'un arbre dessouché, voire, si elle de plus grande dimension, une ancienne zone d'emprunt de matériau.



Figure 1 : Exemple d'une zone de remblai correspondant à l'emplacement d'un ancien puits



Figure 2 : Exemples de bosquet isolés traduisant la présence d'anciens ouvrages miniers

Les coordonnées des indices visibles et interprétés comme pouvant être d'origine minière sont levées systématiquement de manière à en établir une cartographie précise. La valorisation des données récoltées et cartographiées permet d'affiner et d'optimiser la stratégie de reconnaissance et des investigations complémentaires qui seront menées sur le projet (décapages, fouilles, forages destructifs, carottés, etc.).

3.1.6 COUTS

Une enquête préalable aux investigations, comme la recherche bibliographique, fait appel à un travail intellectuel réalisé de terrain. Son coût s'exprime en temps passé et peut s'inscrire dans la prestation globale du géologue ou géotechnicien qui réalise l'étude de reconnaissances. D'une manière indicative, on retiendra quelques jours à une semaine de travail dédié à cette enquête, dont le montant correspondrait à environ 4000 euros hors taxes.

3.1.7 BIBLIOGRAPHIE

Exemples de réalisation

Sur d'anciennes mines orphelines de Basse-Normandie et Pays-de-Loire

Compte rendu GEODERIS 300PAL3-CR02-CF, mars 2003. Concessions minières orphelines de l'Ermitage (61), le Genest-Saint-Isle, La Chaunière et les Bordeaux, Port Brillet (53), Les Touches (44). Compte rendu de visites préalables à l'établissement d'Avant Projet Sommaire.

Mines de fer de Lorraine

Compte-rendu GEODERIS E2008/022DI, mars 2008, Compte rendu de la visite de terrain du 27/10/2007 avec l'association de spéléologie de Nancy-ODJ du bassin ferrifère de Nancy (54) (communes de Liverdun, Marbache et Villers, Vandoeuvre-les-Nancy)

3.2 FICHE N° 2 : ARCHIVES DE DETAIL (CAS DES GRANDS BASSINS MINIERES)

3.2.1 PRINCIPE

La phase informative d'un PPRM a pour principal objectif de collecter l'ensemble des informations disponibles. Elle exige, en particulier, une consultation attentive des archives d'exploitation ou de tout document susceptible de fournir des informations utiles à la caractérisation du contexte des ouvrages étudiés (géologie, hydrogéologie, méthodes d'exploitation...).

Ces archives sont typiquement disponibles :

- pour ce qui concerne les exploitations arrêtées relativement récemment, dans le dossier d'arrêt des travaux miniers constitué par l'exploitant à l'attention des services de l'Etat ;
- auprès des Archives des DRIRE / DREAL ;
- auprès des Archives Communales et Départementales ;
- auprès des Archives Nationales (Paris) et du Centre des Archives du Monde du Travail (Roubaix) ;
- auprès du DPSM (Département Prévention et Sécurité Minière du BRGM).

Dans le cas particulier des grands bassins miniers (bassin houiller de Saint-Etienne...), la zone d'étude est trop importante pour qu'un certain nombre de documents ait pu être intégré lors de la phase informative. Il s'agit principalement des plans de détail, à l'échelle de quelques galeries.

Pour ces situations, la consultation des archives de détail (disponibles auprès du DPSM, des Archives Départementales ou privées) sur la zone d'étude est susceptible d'apporter des renseignements précis sur la nature des travaux miniers existant sur la zone considérée.

3.2.2 OBJECTIF

- Apprécier la présence potentielle de travaux miniers ;
- Préciser la localisation de travaux miniers.

3.2.3 ELEMENTS DIMENSIONNANT

L'élément dimensionnant majeur est l'étendue de la zone pour laquelle la recherche d'archives de détail est menée.

3.2.4 INTERPRETATION DES RESULTATS

La consultation des plans de détail nécessite une phase de lecture experte (lecture de plans de mine) et de calage et géoréférencement.

Il convient de s'assurer que l'ensemble des plans relatifs à la zone d'investigation sont consultés. En effet, compte tenu des époques successives d'exploitation, les plans peuvent être parcellaires ou ne concerner qu'une partie de la zone investiguée. Un recoupement des informations disponibles sur l'ensemble des plans est requis afin d'établir une cartographie la plus complète possible des travaux miniers disponibles.

Le calage et le géoréférencement des plans de détail peuvent s'avérer des phases délicates, en particulier pour les plans anciens dégradés par les effets du temps ou sur lesquels peu d'information sur l'environnement sont disponibles (modification des tracés de routes en particulier, voire absence de points de calage en surface pour les plans ne présentant que les travaux souterrains sans information sur la surface). On peut parfois rencontrer le problème de plans avec des systèmes de coordonnées locaux anciens dont il peut s'avérer difficile de faire la correspondance avec les systèmes actuels.

3.2.5 COUTS

L'évaluation du coût doit comprendre le temps de consultation auprès des archives (compter 1 à 2 jours pour un hectare à investiguer environ) et le temps de calage (même ordre de grandeur).

3.2.6 BIBLIOGRAPHIE

Exemples de réalisation

« Bassin houiller de Saint-Etienne. Concessions de l'Ondaine et de Saint-Etienne Ouest. Zones tests à risque d'effondrement localisé ». Rapport INERIS-DRS-07-90081-17132A du 20 décembre 2007.

3.3 FICHE N° 3 : CAMPAGNE DE FORAGES DESTRUCTIFS

3.3.1 PRINCIPE

Les sondages, dits « destructifs », sont destinés à rechercher des cavités ou encore des indices géologiques (recouper d'anciens filons ou couches par exemple). Ils sont forés généralement verticalement afin de détecter sans ambiguïté des vides, terrains décomprimés ou horizons géologiques ciblés.



Figure 3 : Exemple de sondeuse pour une campagne de reconnaissance

Ils permettent également une fois équipés de réaliser des relevés vidéos, mesures laser ou sonar, essais pressiométriques ou autres diagraphies différées. Le cas échéant, ils permettent éventuellement de localiser le creusement d'un puits d'accès au vide rencontré.

3.3.2 OBJECTIF

- Confirmer ou infirmer la présence de vides souterrains ou d'indices ;
- Préciser la localisation des vides souterrains ;
- Caractériser les vides ;
- Localiser, dans certains contextes, une couche minéralisée.

3.3.3 ELEMENTS DIMENSIONNANT

Implantation des forages (maillage)

Le choix du nombre de sondages et de leur implantation dépend :

- De la géométrie prévue des vides souterrains suspectés ;
- Du rapport de la surface des vides sur la surface totale à investiguer.

En s'appuyant sur les informations disponibles sur les vides suspectés dans l'étude d'aléa, la définition de l'implantation des forages doit être suffisante pour garantir qu'une cavité soit rencontrée par forage.

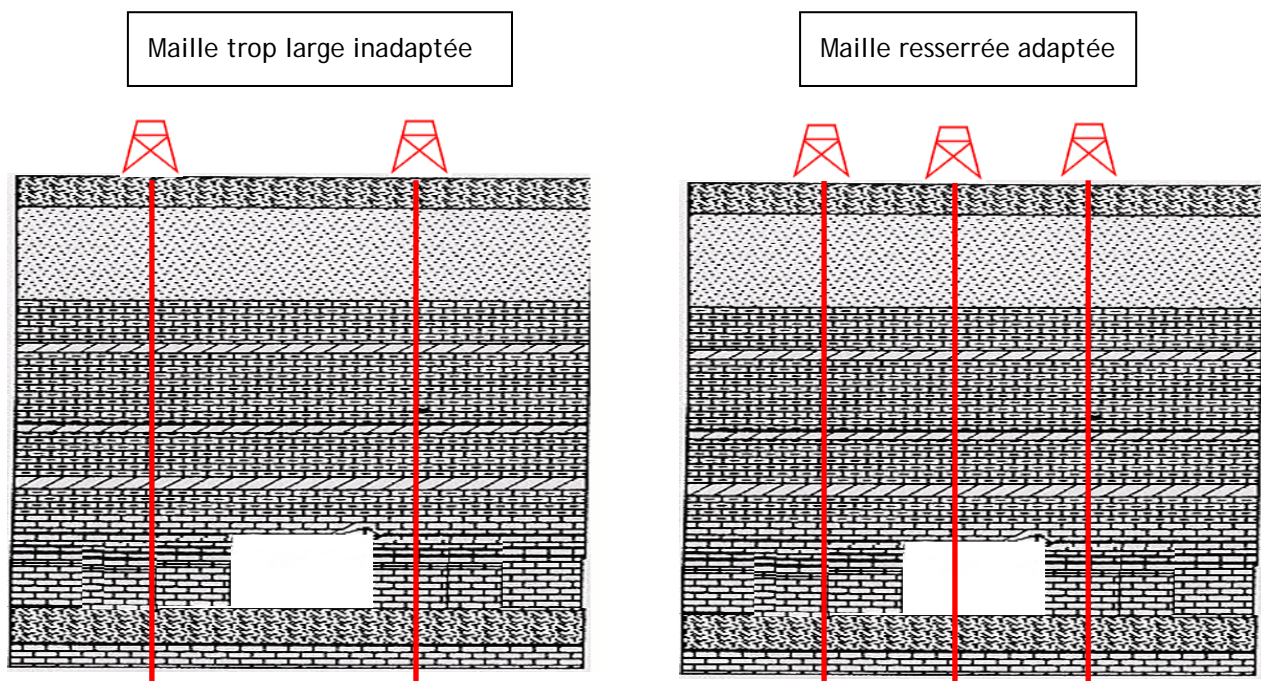


Figure 4 : Coupes schématiques représentatives d'un maillage de reconnaissance par sondages destructifs

Profondeur à atteindre

En s'appuyant sur les informations disponibles sur les vides suspectés dans l'étude d'aléa, la profondeur des forages doit être suffisante pour garantir qu'une cavité soit rencontrée.

Les forages doivent être réalisés jusqu'à une profondeur de 5 à 10 mètres en dessous de la profondeur du plancher de la cavité identifiée (ou supposée) ou de la profondeur maximale retenue dans l'étude d'aléa (ou du niveau minéralisé).

Bon nombre d'exploitations minières ont été réalisées sur plusieurs niveaux superposés. Le schéma d'implantation, le nombre de forages (au minimum un par niveau exploité) et les profondeurs à atteindre doivent tenir compte de cette possibilité.

Analyse in situ des données de forages

Réalisée en temps réel, l'analyse des données de forage (observations et paramètres de foration), a pour objectif d'optimiser la campagne. Elle permet :

- le réajustement du maillage ;
- le réajustement des profondeurs à atteindre ;
- la modification de la stratégie de recherche (ex : suivi d'une cavité une première fois recoupée) ;
- l'arrêt de la campagne une fois l'objectif atteint.

Une endoscopie rapide si un vide est rencontré peut permettre d'orienter la poursuite des investigations par sondages.

3.3.4 TECHNIQUE

D'une manière générale, les opérations de forage sont codifiées par la norme NFP 94-500 classant les missions géotechniques ainsi qu'au DTU en vigueur (cf. [1]), les reconnaissances de cavités relevant alors d'une mission G0.

Dans l'après-mine, les forages sont tout d'abord réalisés généralement en petit diamètre (de l'ordre de 60 mm), verticalement et à vitesse constante. Ils sont systématiquement accompagnés d'enregistrements de paramètres à l'avancement :

- La vitesse instantanée d'avancement (ou vitesse de pénétration) : V_i ou $V_i.A$;
- La poussée sur l'outil : P.O. ;
- La pression d'injection de fluide : P.I. ;
- Le couple de rotation : C.R. ;
- La vitesse de rotation : V_r ;
- Le débit du fluide d'injection.

Le choix de la technique de forage (roto-percussion, tricône, marteau fond de trou...) dépend de la nature géologique des terrains à traverser. D'une manière générale et compte tenu des diamètres de sondage préconisés et des profondeurs à atteindre, la technique de foration au marteau fond de trou sera privilégiée lorsque les terrains attendus sont « durs » (roches cristallines et grès massif). Les autres techniques peuvent être utilisées pour des roches plus « tendres » telles que des calcaires ou des schistes. Il est par contre important de signaler que le choix du fluide d'injection (air ou eau ou boue de bentonite ou autre produit dans certains contextes) sera à envisager en fonction du contexte minier et la possibilité de présence de gaz potentiellement dangereux (méthane, gaz carbonique,...) parfois sous-pression dans les cavités. Pour une recherche de cavité sur une ancienne mine

de charbon, l'eau sera privilégiée compte tenu de l'échauffement de l'outil de forage en fond de trou induit par une foration à l'air.

Si une cavité est rencontrée, les sondages sont agrandis si besoin et tubés en PVC d'un diamètre de 120 mm environ jusqu'au toit de la cavité rencontrée, pour permettre de réaliser ultérieurement des relevés vidéos, mesures laser ou sonar ou autres diagraphies différées. Les têtes de forages sont alors équipées d'une bouche à clé (ou regard avec tampon fonte), qui sera mise en place avec le souci de constituer le moins de désagrément possible pour le propriétaire ou, dans le cas de voirie, qui ne devra pas dépasser du revêtement de la chaussée. Une attention particulière devra être apportée à la réalisation du tubage, ceci afin de ne pas déformer les tubes, ce qui peut bloquer le passage des appareils d'auscultation en forage.



Figure 5 : Sortie d'un tubage au toit d'une cavité et dédié à une auscultation

Si aucune cavité n'est rencontrée, le sondage est rebouché avec du ciment - tout-venant (et pose d'une rustine sur la chaussée) avant que le site soit remis en état.

Les sondages destructifs sont susceptibles de générer des projections de poussière ou le ruissellement de boues aux alentours du point de foration. Une attention particulière est portée sur les nuisances et la remise en état du site. En particulier,

si les sondages sont proches des bâtis, des bâches de protection sont mises en place pour protéger ceux-ci.

3.3.5 INTERPRETATION DES RESULTATS

L'interprétation des résultats se base sur l'expérience de terrain du sondeur et du géologue ou géotechnicien qui suit la campagne de forages. Elle s'appuie sur les observations menées durant la foration (cuttings ou boues rejetés, éventuelles pertes d'injection, comportement de la foreuse, chute de l'outil de forage, etc.) puis sur l'analyse des paramètres enregistrés.

A titre d'exemple, lorsque l'appareil de forage débouche dans un vide franc (non remblayé), la poussée sur l'outil de forage (PO) devient négligeable et la vitesse instantanée d'avancement (V_i) s'accélère brutalement puis devient constante tant que l'outil ne rencontre la sole de la cavité (ou tout autre obstacle). Sur site, cette phase s'observe par la chute de l'outil de foration accompagnée d'une perte totale de fluide. Ces premières constatations permettent de connaître la profondeur et la hauteur de la cavité. Néanmoins, forer le long d'un parement ou la présence de remblais dans la cavité va nuancer voir notamment modifier ces paramètres. La foration d'une fracture ouverte peut également simuler la présence d'une cavité. Par ailleurs, des galeries remblayées avec des éléments très fins donnent la même signature à l'enregistrement qu'une galerie vide.

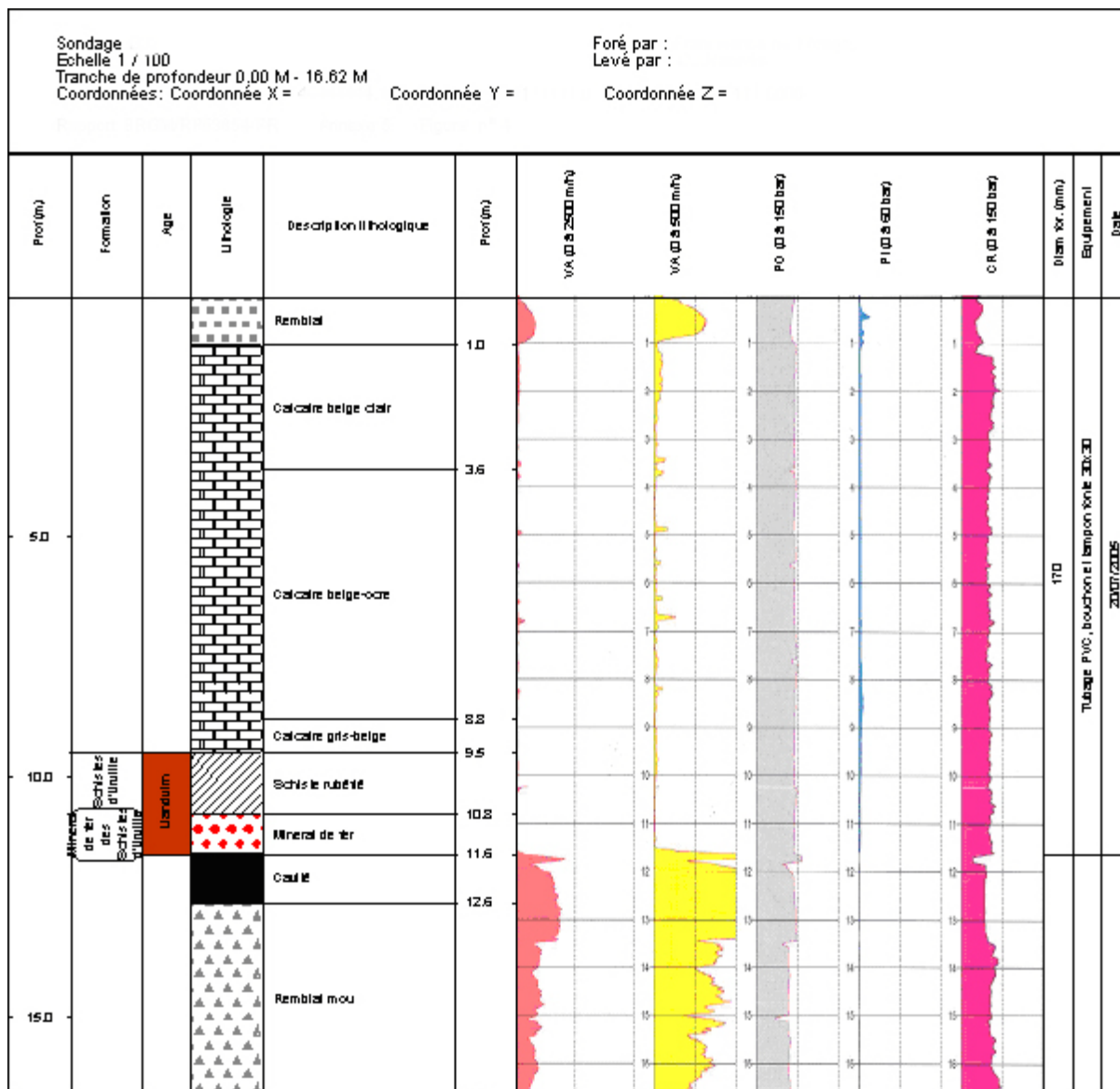


Figure 6 : Exemple d'un log sondeur - Paramètres d'enregistrements du forage couplés à la lithologie rencontrée

Par ailleurs, les paramètres enregistrés permettent d'apprécier qualitativement la résistance des terrains. La rencontre d'un banc épais et d'apparence résistant, (donc potentiellement de nature à bloquer la remontée d'un fontis) peut permettre d'envisager la réalisation d'un ou plusieurs forages carottés (éventuellement associés à des essais et calculs géotechniques) de manière à caractériser le recouvrement rocheux d'un point de vue mécanique.

Finalement, chaque forage implanté et réalisé doit être levé topographiquement. Cette cartographie s'avère indispensable à l'interprétation des coupes de sondages puis la réévaluation de l'aléa.

3.3.6 COUTS

D'une manière indicative, la fourchette de prix se situe entre 120 et 150 euros hors taxes au mètre linéaire de forage destructif comprenant notamment l'amenée - repli du matériel qui reste un poste important au budget. Bien entendu, plus le métrage augmente, plus son coût unitaire diminue. Ce prix ne tient pas compte d'une prestation de suivi et d'interprétation des sondages par un géologue ou un géotechnicien (cf. fiche enquête de terrain).

3.3.7 BIBLIOGRAPHIE

Exemples de réalisation

Sur l'ancienne mine de Pb/Zn/Ag de Trémuson (22)

Compte Rendus Factuels Francilienne n° 06.0234, 06.0830 et 07.0019 établis le 06 novembre 2006, 22 décembre 2006 et 22 janvier 2007.

Rapport INERIS-DRS-07-77055-04923A du 08 novembre 2007. Reconnaissances complémentaires pour l'évaluation du risque : suivi des sondages sur la concession de Trémuson (22).

Sur le bassin ferrifère de Normandie

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).

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).

Sur l'ancienne mine de Pb/Zn/Ag de La Touche (35)

Rapport CEBTP-SOLEN DLH2.7.102-1 du 23/07/2007. Missions d'investigations géotechniques du 28 juin au 13 juillet 2007 (cf. norme NF P 94-500 de décembre 2006 relative aux missions géotechniques) - Sites 1 et 2 - Vieux-vy-sur-Couesnon (35)

Rapport GEODERIS W2009/013DE - 09BRE2420 du 28 avril 2009. 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.

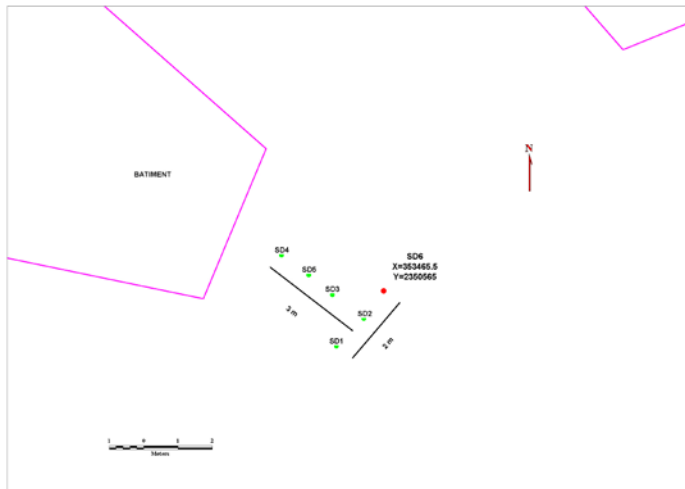
Documents généraux

[1] « Etude géotechnique et reconnaissance de sol. Projet de Document Technique Unifié. » Revue française de géotechnique n°22 février 1983.

[2] Fauchar C., 2008. Les marnières de Haute-Normandie - Méthodologies d'étude et de Prévention. Guides Techniques et Méthodes des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 112 p.

Figure 7 : Illustrations d'exemples de réalisation

Recherche d'un puits de 1,5 m de section à proximité de bâtiments industriels



Position présumée du puits (en rouge sur la photo aérienne)

Schéma et photographie d'implantation des forages : le point rouge sur le schéma représente le forage qui a traversé le puits

Confirmation de la position du puits à la pelle mécanique avant sa mise en sécurité



Figure 8 : Recherche d'une série de galeries de 1,5 à 2 m de largeur situées entre 10 et 40 m de profondeur à proximité d'une habitation

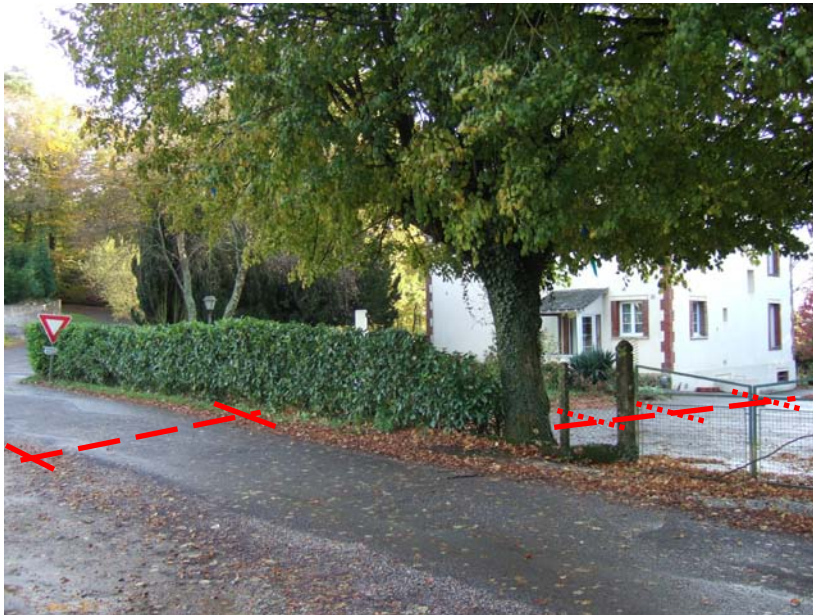
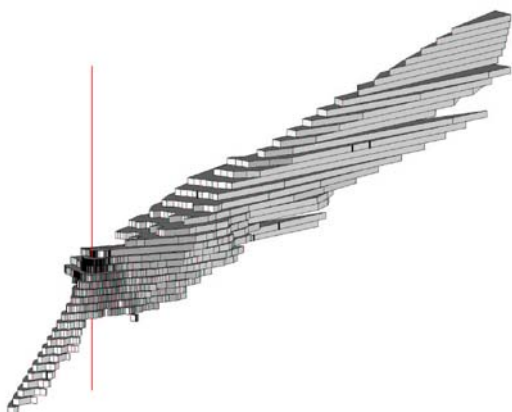
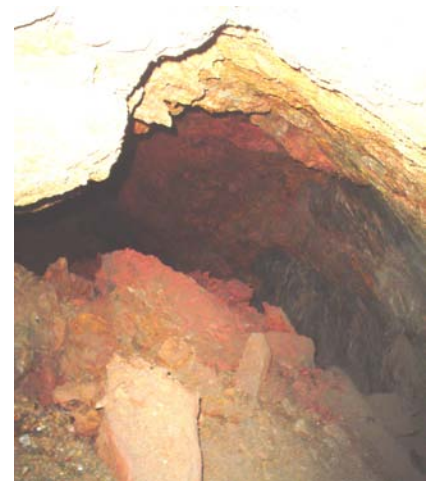


Schéma d'implantation des sondages

Réalisation des forages, pose de tubages et regards



Auscultation laser et vidéoscopie d'une des cavités



3.3.8 FICHE N° 4 : RECONNAISSANCE A LA PELLE MECANIQUE

3.3.9 PRINCIPE

Une reconnaissance à la pelle mécanique est destinée à rechercher des indices d'ouvrages miniers (puits) ou géologiques (recouper d'anciens filons ou couches par exemple) ou parfois des galeries peu profondes. Suivant l'objectif à atteindre, trois techniques peuvent être mise en œuvre :

- Le décapage d'une surface ;
- La fouille en un point précis ;
- La fouille en tranchée orientée.

Cette technique peut s'avérer très efficace. Elle demeure néanmoins relativement destructrice et n'est ainsi réservée que sur des terrains adaptés non construits ou n'ayant pas subi d'aménagements importants.

3.3.10 OBJECTIF

- Rechercher des indices d'ouvrages miniers en surface (puits, galerie très peu profonde, etc.) ;
- Rechercher des indices géologiques (affleurements) de couches minéralisées.

3.3.11 ELEMENTS DIMENSIONNANT

En s'appuyant sur les informations disponibles dans l'étude d'aléa, la surface de décapage et/ou la profondeur des fouilles doit être suffisante pour garantir la confirmation ou l'infirmité de l'indice suspecté.

Surface de décapage

La surface d'un décapage doit aller de quelques dizaines de mètres au delà de la zone à étudier. En effet, il sera possible de repérer des puits hors emprise du projet, mais dont les travaux souterrains peuvent s'étendre sous celui-ci.

Profondeur à excaver

La profondeur des décapages ou des fouilles doit aller au delà d'éventuels terrains allochtones (remaniés ou rapportés) présents en surface pour atteindre les terrains dits « en place ».

Néanmoins, compte tenu du matériel disponible sur le marché, toute fouille au delà de 5 m profondeur reste difficile à mettre en œuvre (nécessité de réaliser des terrassements ou utilisation d'une pelle à câble, technique réservée à des reconnaissances spécifiques, curage d'un puits par exemple).

3.3.12 TECHNIQUES

Décapage d'une surface

Cette technique d'investigation est développée pour la recherche d'ouvrages de surface. Il s'agit généralement de repérer d'anciens puits d'accès aux travaux miniers fermés à l'arrêt des exploitations et maintenant invisibles. D'autres indices

indirects de la présence de cavités souterraines peuvent être également mis en évidence ; d'anciens effondrements localisés ou fontis remblayés.

Le principe de ce type d'investigation consiste au décapage à la pelle mécanique de la terre végétale et des éventuels terrains allochtones. En général, la profondeur minimale du décapage est de l'ordre de 0,5 m mais peut atteindre jusqu'à 2 m.

Ensuite une inspection visuelle du fond de fouille permet de distinguer la présence d'anomalies (forme géométrique de couleur et/ou texture différente, présence d'une maçonnerie, de boisages, etc.). Pour cela le fond de fouille doit être le plus « lisse » possible et sans remaniement de matériau de manière à bien observer les contrastes entre le terrain naturel de ce qui paraît anomal. L'utilisation de godets de curage (sans dents) correspond au matériel qui a donné les meilleurs résultats.



Figure 9 : Exemple d'un décapage spécifique d'une parcelle pour la recherche d'anciens puits de mine



Figure 10 : Exemple d'un ancien puits de mine remblayé détecté après décapage

Fouille en point précis

Si une anomalie est observée, soit après enquête de terrain, soit après un premier décapage, une recherche spécifique à cet endroit est nécessaire pour confirmer son origine (exemple sur la figure 1 de l'anomalie A2 qui après approfondissement s'est avérée négative).

La technique réside en la fouille ou l'approfondissement d'un décapage jusqu'à une profondeur voisine de 5 m (dépend de la longueur du bras de l'engin utilisé) pour confirmer ou infirmer l'origine anthropique et minière d'un indice suspecté.



Figure 11 : Mise en évidence d'une galerie minière peu profonde par par fouille à la pelle mécanique

Tranchée de reconnaissance

Très pratiquée en prospection minière, cette technique peut être utilisée dans l'après-mine et dans un même objectif : détecter des indices de minéralisation en surface ou l'affleurement de la couche minéralisée ou parfois des galeries peu profondes. Cette pratique, moins coûteuse que des forages, peut permettre quand elle est possible à mettre en œuvre de préciser la localisation d'un affleurement et des éventuels travaux miniers sous-jacents.



Figure 12 : Affleurement d'une couche de charbon détectée par fouille à la pelle mécanique

Le principe généralement retenu est de réaliser une tranchée perpendiculairement à la direction globale du gisement. Elle s'accompagne d'une inspection visuelle permettant de détecter tout indice d'affleurement de couche minéralisée. Cette tranchée doit ainsi être dimensionnée pour qu'un géologue puisse, au besoin, réaliser des mesures en fond de fouille (mesures de direction de couche et de pendage). Pour cela, la profondeur de la fouille doit être suffisante afin d'atteindre les terrains en place ayant conservés à minima une structure).

3.3.13 INTERPRETATION DES RESULTATS

L'interprétation des résultats se base sur l'expérience de terrain du géologue ou géotechnicien qui suit la campagne de fouille. Elle s'appuie sur les observations menées durant l'opération (détection de remblais, de traces de minéralisation, etc.) puis sur l'analyse de celles-ci.

Chaque ouvrages miniers ou affleurement confirmé doit être levé topographiquement. Cette cartographie s'avère indispensable à la réévaluation de l'aléa.

3.3.14 COUTS

Les entreprises de terrassement proposent généralement un coût pour une opération de fouille à la pelle mécanique au m³ de matériau déplacé. D'une manière indicative, le prix est de l'ordre de **10 euros hors taxes le m³**. A ceci il faut ajouter la location d'une pelle mécanique qui varie, selon la proximité de l'entrepreneur, entre **500 et 1000 euros hors taxes la journée**. Ce prix ne tient néanmoins pas compte de mise en décharge de déchets ménagers ou industriels qui seraient excavés et de la prestation de suivi et d'interprétation des fouilles par un géologue ou un géotechnicien (cf. fiche enquête de terrain).

A titre indicatif, pour évaluer le nombre de jours de chantiers nécessaires, il faut compter environ 1500 m²/jour pour découper sur 50 cm de profondeur avec une pelle à godet lisse.

3.3.15 BIBLIOGRAPHIE

Exemples de réalisation

Sur le bassin houiller du Boulonnais (62)

Rapport GEODERIS E2009/202DE - 09NPC3500 du 29 septembre 2009. Avis sur le désordre survenu au 10 rue François Mitterrand sur la commune de Rety (62) Synthèse des travaux de reconnaissance menés en 2009.

Documents généraux

[1] Fauchar C., 2008. Les marnières de Haute-Normandie - Méthodologies d'étude et de Prévention. Guides Techniques et Méthodes des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 112 p.

3.4 FICHE N° 5 : CAMPAGNE DE FORAGES CAROTTES

3.4.1 PRINCIPE

Les sondages, dits « carottés », peuvent être également destinés à rechercher des cavités. Plus onéreux que des sondages « destructifs », ils sont surtout réalisés dans un objectif de caractérisation du massif rocheux.

Dans le contexte de l'après-mine, les reconnaissances par forage carotté sont réservées à l'évaluation de l'aléa et non pour dimensionner une construction. Les objectifs, éléments dimensionnant et les techniques décrites ci-dessous tiennent compte de ce contexte.



Figure 13 : Exemple de sondeuse pour une campagne de reconnaissance et d'un carottier

3.4.2 OBJECTIF

- Caractériser le massif rocheux au dessus des cavités ;
- Localiser une couche minéralisée.

3.4.3 ELEMENTS DIMENSIONNANT

Implantation des forages (maillage)

Le choix du nombre de sondages et de leur implantation dépend :

- De la géométrie prévue des vides souterrains suspectés ;
- De la surface totale à investiguer.

En s'appuyant sur les informations disponibles dans l'étude d'aléa, en particulier sur le chapitre la définition de l'implantation des forages doit être suffisante pour garantir la caractérisation la plus fiable du recouvrement rocheux. Si le choix de réaliser des sondages carottés était retenu, il conviendrait pour une surface de l'ordre de 1 hectare, d'effectuer à minima 2 forages, le second étant pour vérifier la continuité géologique du premier.

Profondeur à atteindre

En s'appuyant sur les informations disponibles sur les vides suspectés ou la géologie attendue dans l'étude d'aléa, la profondeur des forages doit être suffisante pour garantir que l'ensemble de la colonne de roche, y compris le mur (partie sous-jacente à la couche minéralisée), soit prélevée et étudiée. Pour cela, les forages doivent être réalisés jusqu'à une profondeur de 5 à 10 mètres en dessous de la profondeur du plancher d'une cavité suspectée ou de la profondeur maximale retenue dans l'étude d'aléa.

3.4.4 TECHNIQUE

D'une manière générale, les opérations de forage sont codifiées par la norme NFP 94-500 classant les missions géotechniques, les reconnaissances de cavités relevant alors d'une mission G0. Les prélèvements de roche sont quant à eux réalisés suivant les prescriptions de la norme XP P 94-202.

La technique du sondage carotté consiste en la réalisation d'un forage à l'aide d'un outil spécifique, le carottier, destiné à récupérer la roche en place sans destruction.

Dans l'après-mine, les forages sont généralement réalisés verticalement avec un carottage de l'ordre de 90 mm. Comme pour les sondages destructifs, ils sont systématiquement accompagnés d'enregistrements de paramètres à l'avancement :

- La vitesse instantanée d'avancement (ou vitesse de pénétration) : Vi ou Vi.A ;
- La poussée sur l'outil : P.O. ;
- La pression d'injection de fluide : P.I. ;
- Le couple de rotation : C.R. ;
- La vitesse de rotation : Vr ;
- Le débit du fluide d'injection.

Le type de carottier employé doit être adapté au carottage de la roche (prévoir potentiellement une plus-value pour l'utilisation, en cas de roche très « dure », d'une couronne diamant).



Figure 14 : Exemple de caisses de récupération de carottes

3.4.5 INTERPRETATION DES RESULTATS

L'interprétation des résultats se base sur l'expérience de terrain du sondeur et du géologue ou géotechnicien qui suit la campagne de forages. Elle s'appuie sur les observations menées durant la foration et le carottage puis sur l'analyse des paramètres enregistrés.

D'une manière optimale, il faut veiller que les carottes soient disposées dans des caisses prévues à cet effet, orientées puis protégées des intempéries. Il est également nécessaire de noter toute anomalie constatée lors de la foration et du carottage et de mesurer le pourcentage de récupération.

Lors de la mise en caisse, il convient d'être vigilant au métrage et à la prise en compte des « pertes » pour éviter un décalage entre la longueur des carottes et leur relevé dans les caisses et la profondeur réelle des carottes. Pour palier ce problème, des « taquets » sont utilisés puis les longueurs mesurées sont comparées avec les taux de récupération.

Le géologue ou géotechnicien qui suit l'opération procède à une description lithologique des carottes de forages et des différentes discontinuités (plan de stratification, fracturation, etc.). Il réalise également la mesure du Rock Quality Designation (RQD) qui représente la densité de fracturation exprimée en pourcentage. Le tout est synthétisé dans un log stratigraphique.

A partir de ces éléments, si une couche de roches apparaît comme épaisse et compétente, une caractérisation géotechnique plus précise peut être réalisée sur des échantillons en laboratoire. Il s'agit par exemple de réaliser des essais de dureté, de résistance à la compression et au cisaillement. La classification du massif rocheux (RMR) dont est tiré le coefficient de foisonnement, paramètre essentiel en après-mine à une évaluation précise de l'aléa, peut être également intéressante.

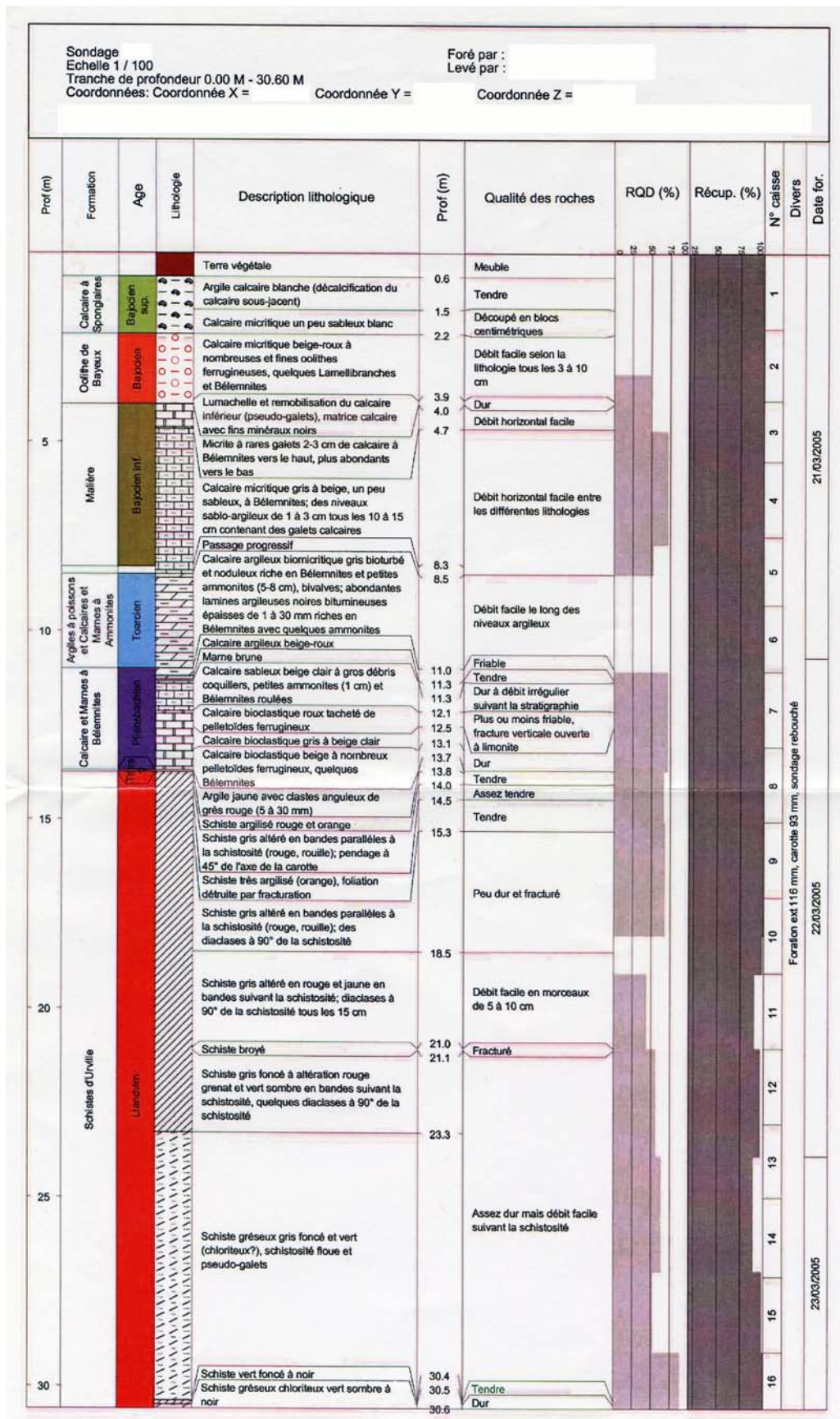


Figure 15 : Exemple d'un log stratigraphique : Paramètres d'enregistrements du forage couplés à la lithologie rencontrée et au calcul du RQD

3.4.6 COUTS

D'une manière indicative, la fourchette de prix se situe entre 200 et 220 euros hors taxes au mètre linéaire de forage carotté comprenant notamment l'amenée - repli du matériel qui reste un poste important au budget. Bien entendu, plus le métrage augmente, plus son coût unitaire diminue. Ce prix ne tient pas compte d'une prestation de suivi et d'interprétation des sondages par un géologue ou un géotechnicien.

3.4.7 BIBLIOGRAPHIE

Exemples de réalisation

Sur le bassin ferrifère de Normandie

Rapport BRGM / RP-53854-FR, d'avril 2005. Sondages de reconnaissance sur les galeries de May-sur-

Sur le bassin ferrifère de Lorraine

Rapport GEODERIS E2007/211DE. Etude des aléas liés aux travaux miniers peu profonds (<50 m) sur la commune d'Hayange (Moselle)

Rapport GEODERIS E2008/259DE. Qualification de l'aléa fontis sur les zones de risque situées au droit du village d'HUSSIGNY-GODBRANGE (54).

Documents généraux

Recommandations AFTES du 29 avril 2003. *Caractérisation des massifs rocheux utile à l'étude et la réalisation des ouvrages souterrains.*

3.5 FICHE N° 6 : ACCES AUX TRAVAUX SOUTERRAINS

3.5.1 PRINCIPE

Si les travaux miniers mis en évidence présentent une grande complexité, de sorte que la quantité de forages pour réaliser des passages caméra serait considérable, la visite des travaux souterrains, sous certaines conditions, peut s'avérer intéressante. Le principe consiste à réaliser un accès aux travaux puis à un examen spécifique des cavités visitées.

3.5.2 OBJECTIF

- Permettre la visite des travaux souterrains ;
- Cartographier l'emprise exacte des cavités ;
- Diagnostiquer avec précision l'état géotechnique des travaux miniers ;
- Possibilité, en cas de besoin, d'optimiser des travaux de surveillance ou de confortement.

3.5.3 ELEMENTS DIMENSIONNANT

Profondeur et géométrie des cavités

Le choix de réaliser un accès aux cavités s'appuie sur les informations acquises par

une opération de forages destructifs réalisée sur les vides. Ce choix sera contraint par la profondeur des travaux qui ne doit pas être trop importante (raisonnablement 20 m maximum) mais surtout par la géométrie des cavités. En effet, les cavités doivent être suffisamment volumineuses et adaptées pour que la circulation de personnes en sécurité y soit aisée sans trop de moyens spécifiques (excluant par exemple la visite de chambres d'exploitations subverticales qui nécessite des équipements et techniques équivalents à ceux utilisés pour des travaux « acrobatiques »).

Sécurité d'accès aux cavités

Circuler en galerie de mines abandonnées (milieu confiné et méconnu) est un exercice dangereux pour la sécurité des personnes.

La possibilité de réaliser un accès aux travaux miniers dépend essentiellement des conditions de sécurité pour les personnes devant y circuler (géologue, géotechnicien, géomètre, etc.). Ces conditions englobent notamment :

- La présence d'eau ;
- La présence éventuelle de gaz toxiques dans les cavités (CO, CO₂, CH₄, radon, etc.)
- L'état d'endommagement des cavités (risque d'éboulement, de chute, etc.).

Outre la supposition que les visites des travaux souterrains soient réalisées par du personnel compétent, formé et/ou encadré par des spécialistes habilités (exemple : le Groupe de reconnaissance et d'intervention en milieu périlleux - Grimp), la question de la responsabilité sur la sécurité des personnes circulant et travaillant en cavités doit être prise en compte avant d'opter pour la réalisation d'un accès.

3.5.4 TECHNIQUE

Lorsque les accès à une mine souterraine sont obturés et ne permettent plus d'être réutilisés (curage d'un puits ou réouverture d'une galerie inenvisageables), l'intervention d'un puisatier (ou d'une entreprise de Travaux Publics ou de forage) permet de créer un nouvel accès.

Dans certains contextes adaptés, l'utilisation d'une tarière voire, si la cavité n'est pas trop profonde, d'une pelle mécanique peut être envisagée.

La technique consiste au fonçage d'un puits de taille métrique par une foreuse de type Bénoto. Durant l'opération de fonçage un contrôle particulier des éventuels épanchements de gaz est recommandé. Après débouché dans les travaux le puits est sécurisé par un cuvelage adapté au terrain (par exemple métallique ou buses ciment) auquel un dispositif d'aide à la descente peut y être ancré (par exemple un train d'échelles soudé). Le puits est finalement obturé.

Il est important que ce puits soit obturé avec un système avec verrouillage possible (bouche à clé, tampon avec fermeture de sécurité) afin d'éviter toute descente « sauvage » de personnes étrangères aux travaux et curieuses de visiter les cavités (spéléologues, etc.)



Figure 16 : Engin de foration de type « Bénoto »

Figure 17 : Trépan en cours de foration



Figure 18 : Descente du blindage acier dans le puits

Figure 19 : Tampon avec fermeture sécurisée



3.5.5 INSPECTION DES TRAVAUX MINIERS

L'inspection visuelle des travaux miniers doit être réalisée par une équipe compétente et formée à travailler en milieu souterrain. Le travail de diagnostic de l'état géotechnique des cavités est réalisé par un géologue ou un géotechnicien. Une attention particulière doit être apportée à l'état des parements, des piliers et du ciel (toit) des cavités.

Dans un second temps, l'intervention d'un géomètre permettra de réaliser le levé topographique souterrain des cavités ainsi que des éléments de surface (bâtiments, etc.). La cartographie ainsi obtenue positionnera les éléments des deux niveaux topographiques les uns par rapports aux autres (utilisation de systèmes de positionnement fond-jour).



Figure 20 : Visite d'une ancienne chambre d'exploitation inclinée

Chaque visite doit préalablement faire l'objet d'un plan de prévention. Ce plan rappelle notamment l'équipement indispensable à la circulation et au travail en milieu souterrain dont à minima :

- des casques « de mineurs » avec lampe frontale ATEX ;
- des baudriers et mousquetons antichute ;
- des bottes de sécurité ;
- des gants de protection ;

- deux détecteurs de présence de gaz (CO, CO₂, etc.) et d'absence d'oxygène ;
- un APEVA par personne (appareil autonome de respiration) ;
- etc.

Pour mémoire, les teneurs en gaz dans l'atmosphère souterraine doivent être :

- pour l'oxygène, au moins égale à 19 % ;
- pour les gaz toxiques et/ou dangereux tels que :

Gaz	Valeur limite	Valeur extrême*
CO ₂	1 %	2 %
CO	50 ppm	400 ppm
NO	25 ppm	75 ppm
NO ₂	3 ppm	10 ppm
H ₂ S	5 ppm	10 ppm
SO ₂	2 ppm	5 ppm

(*) la valeur limite ne peut être dépassée, sans jamais excéder la valeur extrême, que :

- si la personne peut justifier d'au plus 3 dépassements de 15 minutes au plus, séparés par une période de 1 heure par poste de 8 heures ;
- soit après accord des autorités compétentes et sous certaines conditions de pondération par poste de 8 heures.

Nous ré-attirons néanmoins l'attention sur les questions de responsabilités sur la sécurité des personnes circulant et travaillant en milieu souterrain. Ces questions doivent être impérativement prises en compte pour vérifier et confirmer la possibilité de visites des travaux souterrains en toute sécurité.

3.5.6 COUTS

D'une manière indicative, le coût de réalisation d'un puits d'accès est de l'ordre de **1500 euros hors taxes** au mètre linéaire comprenant notamment l'amenée - repli du matériel, la réalisation d'avant-trous et le fonçage puis l'équipement du puits.

Pour des questions de sécurité, les visites en travaux souterrains mobilisent une équipe d'un minimum de 4 personnes, dont un géologue ou un géotechnicien et un géomètre. La première visite de reconnaissance est consacrée à faire le diagnostic géotechnique. Si les conditions de sécurité sont remplies, le levé topographique par un géomètre est ensuite réalisé.

Ce type de reconnaissance fait donc appel à un travail intellectuel réalisé en souterrain. Son coût s'exprime en temps passé. D'une manière indicative, on retiendra une semaine de travail par personne dédié à cette enquête dont 1 à 2 jours consacrés à la visite et aux mesures. A titre indicatif, le montant global de ce type de prestation correspondrait à environ **10 000 euros hors taxes**.

3.5.7 BIBLIOGRAPHIE

Exemples de réalisation

Sur le bassin ferrifère de Normandie

Rapport ETS n°14.277, 2005. Mine de fer - Synclinal de May-sur-Orne « Puits d'accès sur galerie, SD n°15 ». Reconnaissance complémentaire pour l'évaluation du risque - Réalisation du puits d'accès aux travaux miniers.

Rapport ETS n°14.408, 2005. Mine de fer - Synclinal de May-sur-Orne « Puits rue Léonard Gilles, SD n°10 ». Reconnaissance complémentaire pour l'évaluation du risque - Réalisation du puits d'accès aux travaux miniers

Rapport ETS n°14.456, 2005. Mine de fer - « Niveau B, ouverture de galeries ». Reconnaissance complémentaire pour l'évaluation du risque - Ouverture de deux galeries

Rapport INERIS DRS-06-68230/R01 du 17 mars 2006. Bassin ferrifère de Normandie - Convention May-sur-Orne (14) : Inspection géotechnique des galeries de niveau supérieure.

Rapport INERIS DRS 07-91327-11793A du 7 décembre 2007. Localisation fond/jour sur les sites de May-sur-Orne et de Saint-Rémy-sur-Orne (14).

Sur le bassin ferrifère de Lorraine

Rapport GEODERIS E2006/436DE. Analyse et cartographie des zones d'aléa et de risque liées aux travaux miniers situé entre 0 et 50 m de profondeur. Commune de Moyeuve Grande (57).

Rapport GEODERIS E2007/577DE. Qualification de l'aléa fontis des zones de risque R019Y1, R019C et R024A situées au centre du village de Thil (54)

Note GEODERIS N2004/233, août 2004, Compte rendu de la visite de l'exploration du vide souterrain découvert rue Fabert sur la commune de Moyeuve-Grande (57)

Note GEODERIS N2004/305, novembre 2004, Compte rendu de la visite des travaux de la concession de Maxeville/Boudonville (54)

Note GEODERIS N2005/326, octobre 2005, Visite des trous d'homme de Moyeuve Grande

Documents généraux

[1] Fauchar C., 2008. Les marnières de Haute-Normandie - Méthodologies d'étude et de Prévention. Guides Techniques et Méthodes des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 112 p.

3.6 FICHE N° 7 : OUTILS D'AUSCULTATION

3.6.1 PRINCIPE

Les outils d'auscultation sont destinés à obtenir des images des cavités souterraines ou du recouvrement rocheux traversés lors d'une opération de forage.

Lorsque les travaux miniers sont inaccessibles, ils permettent de vérifier la géométrie (dimensions, orientation) et l'état des cavités. Ils permettent également de réaliser un examen du recouvrement rocheux (au dessus des cavités) dédié à apprécier sa nature, sa structuration et son état géotechnique.

Ces auscultations sont réalisées à partir de forages verticaux.

3.6.2 OBJECTIF

- Vérifier la géométrie des vides souterrains ;
- Cartographier l'emprise des cavités ;
- Préciser, si possible, l'état des cavités.

3.6.3 ELEMENTS DIMENSIONNANT

Ennoyage des cavités souterraines

La technique d'auscultation dépend de l'état d'ennoyage des cavités souterraines.

Lorsque la cavité est ennoyée, l'outil pouvant être mis en œuvre est le sonar. Lorsque que la cavité est hors d'eau, deux outils peuvent être mis en œuvre et éventuellement couplés ; la vidéoscopie et le laser.

Pour ce qui concerne l'auscultation du recouvrement rocheux, l'outil mis en œuvre est également une acquisition d'image par un endoscope équipé d'une caméra vidéo ou d'une sonde acoustique.

Précision des outils

Les sondes laser ou sonar présentent des portées qui peuvent aller au delà de 100 m (voir 200 m pour le sonar), distance très largement suffisante pour visualiser des cavités minières superficielles dont les dimensions sont communément inférieures à 30 m.

La portée de la vidéoscopie dépend essentiellement de la puissance d'éclairage qui lui est associé. Les outils disponibles sur le marché présentent rarement plus de 200 Watt d'éclairage en caméra et 500 Watt en photographie. Ces puissances limitent la portée d'obtention d'images de bonne qualité à 10 m, exceptionnellement 15 m si la cavité est dans un encaissant de ton clair.



Figure 21 : Dispositif de vidéoscopie en sondage

Notons que l'INERIS dispose d'une caméra à éclairage LED lui permettant une portée de l'ordre de 30 à 50 m.

Géométrie des vides souterrains

Une géométrie peu régulière (galerie non rectiligne, présence d'un pilier ou d'éboulis masquant, etc.) peut entraîner qu'une visualisation partielle de la cavité. Ceci peut alors nécessiter de recourir à la réalisation de sondages destructifs complémentaires.

3.6.4 TECHNIQUES

Toutes les techniques d'auscultation présentées sont réalisées à partir de forages aux caractéristiques suivantes :

- diamètre de 120 mm minimum pour garantir le passage aisé du matériel ;
- vertical pour éviter la perte ou endommagement des sondes ou caméras lors de leur remontée depuis la cavité ;
- équipement en tube PVC jusqu'au toit de la cavité (non obligatoire pour l'imagerie de paroi).

L'auscultation au sonar

Le principe réside en un balayage d'une cavité envoyée d'échos d'ondes ultrasoniques au moyen d'une sonde descendue par le trou de forage. Le matériel disponible sur le marché propose des sondes dont diamètre n'excède pas 90 mm et la longueur de 1 à 3 m. L'acquisition des tirs sonar se fait dans les 3 dimensions par des balayages circulaires, inclinés tous les 2° de l'horizontale jusqu'à la verticale. Des logiciels de traitement des données fournissent les caractéristiques de la cavité, accompagnées de sections horizontales et verticales. Des restitutions en trois dimensions de la cavité avec différents angles de vue sont alors possibles. La précision du système est d'ordre décimétrique rendant une restitution globale en trois dimensions précise au m³.

L'auscultation au laser

Le principe réside en un balayage continu d'une cavité sèche d'un faisceau laser au moyen d'une sonde descendue par le trou de forage. Le matériel disponible sur le marché propose des sondes de diamètre 100 mm et de longueur inférieure à 2 m. L'acquisition des tirs laser se fait de manière circulaire tous les 2° d'inclinaison entre - 60° et + 60°. Le rendu final est à l'image d'une auscultation sonar avec le même niveau de précision.



Figure 22 : Sonde laser et opération d'acquisition

La vidéoscopie

Le procédé consiste à introduire dans un forage un dispositif comprenant soit une caméra vidéo soit un appareil de photographies. Ceci permet la visualisation directe de la cavité non envoyée. Cette technique offre la possibilité de déterminer la nature, la structure et l'état global du vide décelé tout en appréciant son volume. Pour cela, il convient d'opter pour un équipement permettant de connaître précisément la direction des prises de vue (gyroscope, etc.) et de mesurer des distances (télémètre laser, etc.). Le matériel disponible sur le marché ne permet que des observations horizontales ou inclinées vers le bas ce qui rend impossible tout diagnostic précis du ciel de la cavité. Pour y palier, des outils plus perfectionnés sont actuellement en cours de développement.



Figure 23 : Exemples de photographies de cavités minières peu profondes

L'endoscopie en forage (ou imagerie de paroi)

Cet outil est uniquement dédié à l'examen du forage jusqu'au toit de la cavité. L'endoscopie peut être réalisée par vidéo lorsque le forage est non ennoyé où par sonde acoustique dans le cas contraire.

L'opération consiste à filmer les parois du forage à l'aide d'un endoscope que l'on déplace de façon lente et régulière. La propreté des parois est un facteur nécessaire à l'obtention de résultats exploitables. Les discontinuités sont repérées avec un compteur de défilement de la bande. Cette technique permet, la mise en évidence de discontinuités, de plans de décollement voir de vides au-dessus du premier banc du toit. Elle peut s'avérer intéressante pour apprécier des conditions de stabilité, sur le plan de la structure du massif rocheux, de sa nature et de sa résistance.

Dans l'après-mine, cette technique n'est employée que pour la vérification de phénomènes d'affaissement des terrains à la suite de foudroyage ou d'effondrement de cavités profondes. Pour des cavités superficielles, les résultats apportés par cette technique ne sont pas significativement plus intéressants que l'analyse des paramètres de forages.

3.6.5 INTERPRETATION DES RESULTATS

L'interprétation des résultats s'appuie sur l'expérience de l'opérateur des outils et du géologue ou géotechnicien qui suit la campagne d'auscultation. Ces résultats permettent le plus souvent de déterminer la nature, la configuration, et l'origine d'une cavité. Ces auscultations offrent également la possibilité de la cartographier avec précision et d'obtenir ses dimensions. Dans certaines conditions, elles permettent également d'apprécier son état d'« endommagement ».

L'ensemble de ces résultats permet ainsi d'acquérir les paramètres fondamentaux à une évaluation précise de l'aléa liée à la présence d'une cavité souterraine.

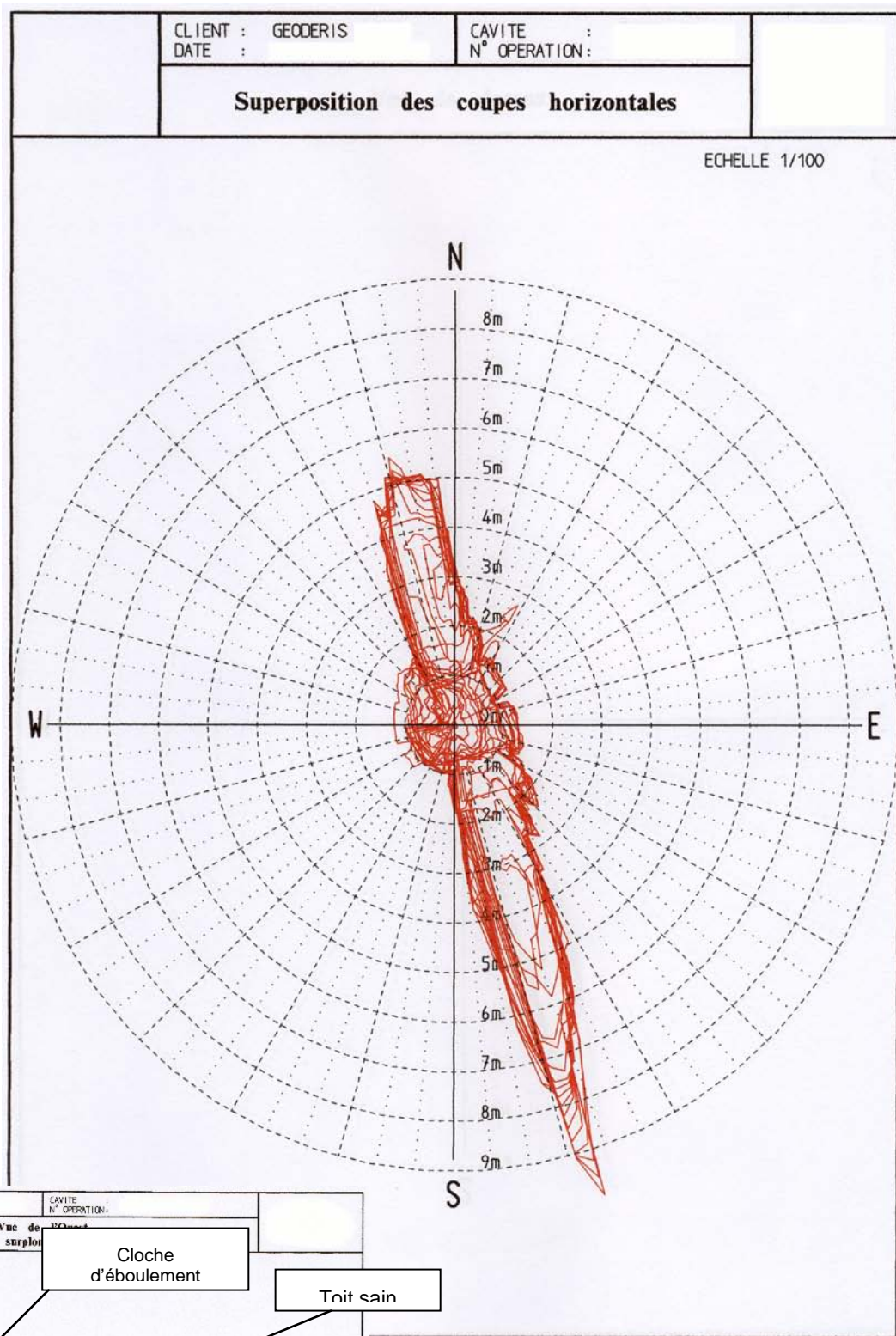


Figure 24 : Restitution 2D d'une cavité auscultée par sonde laser

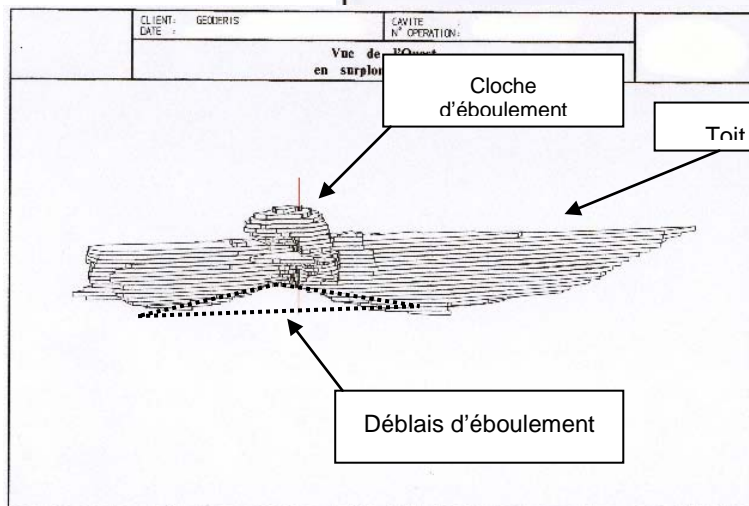


Figure 25 : Restitution 3D d'une cavité auscultée par sonde laser et interprétation

3.6.6 COUTS

D'une manière indicative, la fourchette de prix d'une auscultation se situe entre 1000 et 2500 euros hors taxes par cavité. Ceci comprenant notamment l'amenée - repli du matériel qui reste un poste important au budget. On retiendra que les auscultations laser ou sonar sont les plus onéreuses. Cette fourchette de prix ne tient pas compte d'une prestation de suivi et d'interprétation des résultats par un géologue ou un géotechnicien (cf. fiche enquête de terrain).

3.6.7 BIBLIOGRAPHIE

Exemples de réalisation

Sur l'ancienne mine de Pb/Zn/Ag de Trémuson (22)

Rapport INERIS DRS-07-90550-09284A du 30 juillet 2007. Inspection à l'endoscope du désordre situé le long d'une route communale au hameau de Peignard (commune de Plérin-sur-mer - 22) - Mine de Trémuson

Sur le bassin ferrifère de Normandie

Rapport IGC 61-CRQ 129. Vidéo en Sondage, (La Pillière - Les Riautes) La Ferrière-aux Etangs (61) - Janvier 2007

Rapports FLODIM 08-222, 08-223, 08-224 et 08-225. Campagne sonar - Avril 2008, La Ferrière-aux-Etangs.

Sur l'ancienne mine de Pb/Zn/Ag de La Touche (35)

Rapports FLODIM 07-114. Campagne laser image - septembre 2007, Vieux-Vy-sur-Couesnon - Brais.

Rapports FLODIM 08-119 et 08-120. Campagne laser image - novembre 2008, Vieux-Vy-sur-Couesnon - Brais.

Documents généraux

[1] Tritsch J.J. (INERIS), Toulemont M. (DPPR), Durville J.L. et Pothérat P. (LCPC), 2002. *Evaluation des aléas liés aux cavités souterraines*. Collection Environnement des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 132p.

3.7 FICHE N° 8 : RADAR (LOCALISATION DE PUIITS)

3.7.1 PRINCIPE & TECHNIQUE

Le radar géologique est une technique qui utilise les ondes électromagnétiques se propageant et se réfléchissant dans un milieu hétérogène pour imager, localiser et identifier des variations de propriétés électriques et magnétiques dans le sol.

Il est constitué :

- d'une antenne d'émission envoyant dans le sol des ondes électromagnétiques de fréquences variant de 2 GHz à 20 MHz selon la profondeur d'investigation et la résolution souhaitées ;
- d'une antenne de réception qui capte en surface les ondes réfléchies par les variations de profils du sol.

L'acquisition des données s'effectue par déplacement des antennes le long de profils et l'enregistrement de traces successives. L'ensemble des traces obtenues pour les différentes positions d'antennes, permet, après traitement informatique d'obtenir une « image radar » du sous-sol et de mettre en évidence des anomalies électromagnétiques dues à des hétérogénéités du sous-sol.

Le radar géologique a été souvent employé pour la recherche d'anciens puits miniers.

3.7.2 OBJECTIF

- Confirmer ou infirmer la présence d'un puits ;
- Préciser la localisation d'un puits.

3.7.3 ELEMENTS DIMENSIONNANT

L'acquisition des données est réalisée généralement selon une grille recouvrant toute la zone à investiguer et dont la dimension de la maille dépend des caractéristiques de l'anomalie recherchée. Typiquement, la taille de la maille est de 1 à 2 m pour une recherche de puits.

Le radar géologique est une technique peu coûteuse et rapide. Elle permet de couvrir des surfaces importantes d'investigation en peu de temps.

Cependant son efficacité dépend des caractéristiques géologiques de l'encaissant et du contraste diélectrique entre l'anomalie (le puits) et l'encaissant.

Pour exemple, la présence d'argile dans les terrains de surface est susceptible d'absorber les ondes et de masquer toute anomalie.

Un revêtement en fonte ou la présence d'anciens équipements métalliques dans les puits (cage, guide...) sont susceptibles d'être sensiblement révélés par le radar géologique.

Dans tous les cas, le choix de la validité de la technique vis-à-vis du contexte doit être réalisé par un organisme spécialisé.

3.7.4 INTERPRETATION DES RESULTATS

L'interprétation des résultats s'appuie sur l'expérience de l'opérateur et du géologue ou géotechnicien qui suit la campagne d'auscultation. Ces résultats permettent le plus souvent de déterminer la présence et la localisation d'une anomalie compatible ou pas avec l'objet recherché (puits).

En fonction des résultats obtenus avec le radar géologique, une campagne de vérification ciblée est menée (décapage à la pelle mécanique, sondage de confirmation...).

3.7.5 COUTS

D'une manière indicative, le prix d'une campagne de radar géologique est de l'ordre de **3000 euros hors taxes** par demi-journée d'intervention. Ceci comprenant l'analyse des résultats bruts.

3.7.6 BIBLIOGRAPHIE

Exemples de réalisation

Nombreux exemples de recherche d'anciens puits de mine dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, réalisés par l'INERIS pour Charbonnages de France et disponibles dans les Dossiers d'Arrêts des Travaux.