

ANTENNE EST

1 Rue Claude Chappe – Entrée C2 – BP 25198

57075 METZ CEDEX 3

☎ : 03 87 17 36 60 – 📠 : 03 87 17 36 89

GEODERIS

**Concession de Fiennes (62) – Etude préliminaire
à l'élaboration d'un PPRM
Communes de Fiennes et Hardinghen**

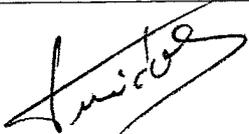
DIFFUSION :

Pôle Après-mine Est
GEODERIS

B. HELBLING (3 ex.)
I. VUIDART
C. LAMBERT
R. HADADOU

Réf : GEODERIS E2007/338DE bis – 07NPC2120

Date : 01 OCT. 2007

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	I. VUIDART	C. LAMBERT	R. HADADOU
Visa			

Siège – 1 Rue Claude Chappe – BP 25198 – 57075 METZ CEDEX 3

☎ : 03.87.17.36.60 - 📠 : 03.87.17.36.89

TVA INTRACOMMUNAUTAIRE : FR83185722949

GROUPEMENT D'INTERET PUBLIC - SIRET : 185 722 949 00020 - APE : 743B

**Concession de Fiennes (62) – Etude préliminaire
à l’élaboration d’un PPRM
Communes de Fiennes et Hardinghen**

SOMMAIRE

1.	<i>Objet et contexte</i>	3
2.	<i>Méthodologie</i>	3
3.	<i>Situation et description des travaux</i>	3
3.1.	Localisation	3
3.2.	Géologie - hydrogéologie	4
3.3.	Les travaux miniers	5
3.3.1.	Ouvrages débouchant au jour	5
3.3.2.	Travaux souterrains	6
3.3.3.	Les terrils	7
3.3.4.	Gaz de mine - échauffement	7
4.	<i>Evaluation des aléas</i>	8
4.1.	Généralités	8
4.2.	Aléas mouvement de terrain liés aux travaux souterrains	8
4.2.1.	Aléa effondrement localisé lié aux anciens travaux situés à faible profondeur (moins de 50 m).....	8
4.2.2.	Aléa effondrement localisé par éboulement d’une galerie isolée	9
4.2.3.	Aléa Effondrement localisé par rupture d’une tête de puits.....	10
4.2.4.	Aléa affaissement/tassement	11
4.3.	Aléas mouvement de terrain liés aux ouvrages de dépôts	12
4.4.	Aléa lié aux échauffements et aux feux	12
4.5.	Aléa lié au gaz de mine	12
5.	<i>Cartographie des aléas</i>	13
6.	<i>Conclusion</i>	14
7.	<i>Liste des annexes</i>	15

Mots clés : charbon, aléa, boulonnais

1. OBJET ET CONTEXTE

A la demande du Pôle Après-mine Est et conformément au programme technique 2006, l'étude de l'aléa sur la concession de Fiennes a été menée. Pour ce faire, GEODERIS a sollicité l'INERIS afin de participer à la réalisation la phase informative et l'évaluation de l'aléa sur cette concession.

GEODERIS synthétise et cartographie dans ce document les principales caractéristiques des travaux miniers de la concession de Fiennes ainsi que les aléas attendus induits par les exploitations.

2. METHODOLOGIE

La démarche mise en œuvre pour qualifier l'aléa s'inspire du Guide Méthodologique d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers de mai 2006 (« L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers. Guide méthodologique. Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa ». Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie et Ministère de l'Equipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer. *Ouvrage collectif résultant des contributions de divers organismes. INERIS, BRGM, GEODERIS, ENSMP, IRSN, CSTB*), référencé INERIS DRS-06-51198/R01.

L'évaluation des aléas liés à la migration de gaz par les terrains de recouvrement a également été réalisée sur la base de la méthodologie développée par l'INERIS pour le compte de Charbonnages de France et déjà appliquée dans le cas particulier des concessions du Nord et du Pas-de-Calais¹.

3. SITUATION ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

3.1. LOCALISATION

La concession de Fiennes est située dans le département du Pas-de-Calais, à environ 16 km au nord-ouest de Boulogne-sur-Mer. Elle s'étend en grande partie sur la commune de Fiennes, et sur la commune d'Hardinghen au sud-est (cf. carte de localisation en annexe 1).

La totalité de l'exploitation souterraine est située dans le bois de Fiennes, propriété de l'entreprise des Carrières du Boulonnais.

Le tableau 1 ci-après récapitule les principales caractéristiques de la concession.

¹ Rapport INERIS DRS-02-20815/R09 intitulé « Emissions de gaz de mine vers la surface dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Approche méthodologique pour l'évaluation des risques et la définition des moyens de prévention. », daté du 23 mai 2002

Concession	Superficie (ha)	Date d'institution	Abandon des travaux	Production (tonnes)	Dernier Exploitant	Date de retrait
Fiennes	432	29/12/1840	1918	Environ 100 000	Société civile des houillères de Fiennes	29/10/1960

Tableau 1 : principales caractéristiques de la concession de Fiennes

L'histoire de la concession de Fiennes se divise en 4 périodes :

- les premières recherches de 1735 à 1810 : pendant cette première période, neuf fosses furent établies sur la concession de Fiennes (fosses de la Machine, de la Hurie, des Limites sur Fiennes, du Fort Rouge, Espoir, Ségard, Sans Pareil, de la Commune et Espoir n°1) ;
- une période non exploitée de 1810 à 1837 ;
- une exploitation commune Fiennes-Hardinghen de 1837 à 1849 : durant cette période, les concessions furent réunies et exploitées par la même compagnie, la Société de Fiennes. Quatre fosses furent ouvertes (fosses Vieille Garde, Sainte Barbe, Boulonnaise et Espoir 2). La fosse du Bois de Fiennes, pour laquelle on ne dispose d'aucune information, a été rattachée à cette période ;
- la fin de la concession de 1849 à 1960 : à partir de 1849, il n'y a plus d'exploitation dans la concession de Fiennes. Après plusieurs déboires, la compagnie de Fiennes est dissoute et mise en liquidation en 1870. Le creusement d'une galerie est entrepris en 1915 et arrêté en 1918 suite à un éboulement, sans avoir atteint le houiller. Plus aucun travaux ne sera réalisé sur la concession jusqu'à sa renonciation en 1960.

3.2. GEOLOGIE - HYDROGEOLOGIE

Le bassin du boulonnais est un îlot de terrain carbonifère situé à 45 km au nord-ouest de la grande formation houillère du Nord et du Pas-de-Calais. Il se présente sous la forme d'un anticlinal orienté ESE-ONO dont l'axe plonge vers l'ouest, limité au nord par la faille de Ferques. Par ailleurs, les failles d'Elinghen et de Locquinghen, transversales à la structure de l'anticlinal, séparent le bassin en trois compartiments. L'essentiel des travaux miniers du boulonnais se trouve dans l'*ancien bassin* ou *vieux bassin*, à l'est de la faille de Locquinghen.

La concession de Fiennes occupe le flanc nord de cet anticlinal. Les travaux miniers sont situés au sud de la faille de Ferques. Les travaux de recherche entrepris au nord n'ont jamais abouti.

Sur la partie exploitée de la concession de Fiennes, les terrains houillers sont recouverts par des couches minces du crétacé (craie cénomanienne, argiles de Gault et sables verts, formation du Wealdien) et par des formations alluviales du quaternaire (limons de plateau). Les terrains de recouvrement ont une épaisseur minimum de 20 m.

Le faisceau du houiller, composé d'une alternance de schistes, de grès, de calcaire marneux ou de veines de houille, atteint une épaisseur de 200-300 m le long de la faille de Ferques. On compte treize veines de charbon dont les principales sont les veines Vieille Maison, à Boulets (ou Marquise), à Cuerelles (ou à Curière ou à Rochettes), Maréchales, à Deux Laies (ou du Bois d'aulnes) et à Boulettes. Cependant seules les trois veines à Cuerelles, Maréchale et à Deux Laies, reconnues jusqu'à la faille de Ferques et d'une puissance de 1 m maximum ont fait l'objet de travaux réguliers.

La houille exploitée était généralement d'un noir brillant, dure et de faible densité. Elle contient 32 à 38% de matières volatiles et sa teneur en cendres ne dépasse pas 6 à 8%. Elle est qualifiée de houille sèche à longue flamme.

Depuis la fin de l'exploitation en 1849, nous pouvons considérer que la situation hydrogéologique est désormais stabilisée sur le territoire de la concession de Fiennes et que la totalité des travaux miniers sont ennoyés. Rappelons qu'une nappe d'eau superficielle, probablement l'aquifère de la craie cénomaniennne est sub-affleurante.

3.3. LES TRAVAUX MINIERS

3.3.1. OUVRAGES DEBOUCHANT AU JOUR

Au total, la concession de Fiennes compte 16 puits (un puits par fosse sauf pour les fosses de la Machine et Sans Pareil où un puits d'aérage est associé au puits d'extraction). Ces puits, initialement destinés à l'extraction, ont été reconvertis ultérieurement pour certains d'entre-eux pour assurer l'aérage.

On peut distinguer deux types de puits :

- les puits situés au nord de la faille de Ferques et qui n'ont jamais atteint le houiller. Ces puits sont borgnes, aucune exploitation n'ayant été réalisée. Il s'agit des puits Sainte Barbe, Bois de Fiennes, de la Commune, de la Machine (+ puits d'aérage). On associera également le puits Vieille Garde, situé à 20 m au sud de la faille mais qui, d'après les archives, n'a jamais atteint le houiller ;
- les puits situés au sud de la faille, susceptibles d'avoir atteint le houiller et donc de donner lieu à une exploitation : puits ou fosse des Limites sur Fiennes, Segard, du Fort Rouge, Sans-Pareille (+ puits d'aérage), la Hurie, Espoir, Espoir n°1, Espoir n°2, Boulonnaise.

Il existe très peu d'information sur le traitement des puits. La consultation des archives laisse à penser qu'un certain nombre d'entre-eux aurait été remblayé de manière partielle, c'est-à-dire en constituant un bouchon de remblais en tête de puits reposant sur un plancher en bois. Cette hypothèse est confirmée dans le cas du puits Sud (concession d'Hardinghen), qui a débouillé en 1997. Ce mode de traitement concernerait vraisemblablement les puits creusés dans la période 1837-1849. Pour les plus anciens, un remblayage simple paraîtrait plus probable.

Le tableau de l'annexe 2 synthétise les informations disponibles relatives à chaque ouvrage.

La consultation des archives a mis en évidence un seul ouvrage débouchant au jour autre que les puits : il s'agit de la descenderie Christian, foncée à 200 m de la fosse de l'Espoir n°2. Les travaux, débutés en 1915, furent arrêtés en 1918 suite à un éboulement. Toujours d'après les archives, il semble que l'ouvrage mesure au maximum 40 m de long et a une pente de 50°². L'éboulement de la tête de la galerie a créé une cuvette remplie d'eau d'environ 4 à 5 m de

² Si un rapport de l'Ingénieur en Chef des Mines du 19 août 1918 indique une longueur de 31 m avec une pente de 40°, un rapport plus récent du 29 octobre 1919 évoque plutôt une galerie inclinée de 50° qui mesure 36 m de longueur.

diamètre, repérée lors de la visite de terrain. D'autres points d'eau prolongent cette mare dans la direction supposée de la galerie, laissant suggérer un éboulement de la galerie sur une longueur significative.

L'ensemble des ouvrages débouchant au jour est reporté sur la carte informative au 1 / 5 000^{ème} en annexe 4.

3.3.2. TRAVAUX SOUTERRAINS

Les archives et autres documents donnent des renseignements sur les fosses qui ont été creusées. Le bassin de Boulonnais se caractérise toutefois par la quasi-absence de plans d'exploitation ainsi que par l'archaïsme et le manque de rigueur de ces travaux. Il est donc difficile de localiser précisément les travaux miniers souterrains. On sait cependant que l'extension a pu être importante, les travaux de certaines fosses ayant recoupés ceux de la fosse voisine. Nous avons donc considéré une exploitation continue. Ainsi, l'enveloppe maximale de localisation des travaux miniers de la concession a été limitée :

- au nord par la faille de Ferques, le houiller n'ayant jamais été rencontré au-delà ;
- au sud et à l'ouest par les limites de concessions, les archives mentionnant que les travaux ont fréquemment dépassé ces limites ;
- à l'est par les lignes d'affleurement des veines de houille en discordance sous les mort-terrains, localisées par Olry³.

Durant la première période d'exploitation, les quelques éléments retrouvés dans les archives laissent supposer qu'il s'agissait d'une exploitation totale remblayée manuellement. Néanmoins, la présence de vides résiduels ne peut être exclue, comme en attestent certains témoignages. Durant cette même période, on remarquera que les puits consistaient en une succession de bures verticaux communicant entre-eux par des galeries horizontales.

La méthode d'exploitation mise en œuvre durant la deuxième période est inconnue. Les puits étaient foncés d'un seul tenant. On peut supposer, comme pour la première période, que les travaux étaient majoritairement remblayés manuellement, comme l'imposait le règlement général des Mines.

Dans la plus grande partie de la concession de Fiennes, les veines de houille se trouvent à plus de 100 m de profondeur. Il existe cependant deux secteurs où les veines seraient susceptibles de se trouver entre 0 et 50 m de la surface :

- à l'aval du puits Sans Pareille, où la veine Maison atteint 31 m de profondeur. Il est difficile de ne pas envisager de travaux à moins de 50 m de profondeur, d'autant qu'il y en a eu dans la fosse voisine Espoir n°1, où la veine atteint 99 m de profondeur ;
- à l'aval des lignes d'affleurement des veines Cuerelles, Maréchale et à Deux Laies dessinées par Olry. D'après l'épaisseur des morts terrains, les affleurements de ces veines principales sont probablement à 30 m de profondeur. Notons qu'il existe d'autres veines de plus faibles importances situées au-dessus de ces veines. A partir des indications de profondeurs données dans certains puits (surtout les puits de la concession d'Hardinghen),

³ *Etudes des gîtes minéraux de la France. Topographie souterraine du bassin houiller du Boulonnais* par A. Olry, Paris, 1904

il a été possible de tracer l'enveloppe probable de localisation des veines de charbon entre 0 et 50 m de profondeur.

Dans tous ces secteurs où une veine de houille est suspectée être présente à faible profondeur, il est envisageable qu'une exploitation ait eu lieu. L'emprise de ces travaux souterrains est reportée sur la carte informative de l'annexe 4.

3.3.3. LES TERRILS

Lors de la visite de terrain, sept terrils ont été répertoriés, de dimensions généralement modestes (hauteur inférieure à 4 m et volume faible). Seul le terril de l'Espoir est plus important, sa hauteur étant estimée à une quinzaine de mètres. Aucun désordre géotechnique n'a été observé. Le couvert végétal est important, certains arbres localisés sur les terrils datant vraisemblablement de plus de 60 ans, ce qui permet d'attribuer ces ouvrages à l'activité minière et non pas à des ouvrages de la seconde guerre mondiale. On notera que certains d'entre-eux ont été remaniés lors de la dernière guerre pour servir de dépôts de munitions.

Le tableau 2 reprend les caractéristiques de ces terrils.

Terril	Numéro de la carte informative (annexe 4)	Date d'ouverture du/des puits à proximité	Hauteur estimée	Emprise au sol	Remarques	Allure générale
Terril de l'Espoir (fosses Espoir n°1 et n°2)	1	1784 et 1838	15 m	Le plus important terril de la concession	Dépôt d'armes au sommet. Banquette à mi-hauteur sur le versant est. Pente de talus importante.	2 sommets accolés
Terril de la fosse Sans Pareille (et/ou de la descenderie)	2	1758 et/ou 1917	6-7 m	Longueur d'une cinquantaine de mètres	Plusieurs anciens dépôts de munitions	
Terril de la fosse du Fort Rouge	6	1740	2 m	40 m x 40 m	Anciens dépôts de munitions sur le talus sud	terrils plats
Terril de la fosse Boulonnaise	4	1838	2,50 à 3 m	Longueur de 50-60 m		
Terril de la fosse des Limites	3	1791	2,50 à 3 m			
Terril de la fosse La Hurie	5	1740	2,50 m	50 m x 50 m	Anciens dépôts de munitions sur le flanc est	
Terril de la fosse de la Machine	7	1737	3-4 m		Volume important par rapport à la durée de vie de la fosse	

Tableau 2 : caractéristiques des terrils de la concession de Fiennes

La localisation de ces ouvrages est présentée en annexe 4.

3.3.4. GAZ DE MINE - ECHAUFFEMENT

Les archives mentionnent quelques incidents liés au grisou. Certaines parties du gisement contenaient par ailleurs de fortes proportions de CO₂. Les incidents se sont produits lorsque l'exploitation recoupait des travaux plus anciens dans lesquels du gaz avait pu s'accumuler. Néanmoins, les quantités sont toujours restées faibles.

La houille du boulonnais est de nature très gazeuse qui s'échauffe et est sujette à s'enflammer. Des incendies dans des veines sont mentionnés dans les archives.

Rappelons que l'ennoyage de tous les travaux de la concession est achevé depuis plusieurs décennies et aucun incident relatif au gaz de mine ou à des feux souterrains n'a jamais été relevé à l'aplomb de l'exploitation après 1849, ni celle des exploitations des concessions voisines.

4. EVALUATION DES ALEAS

4.1. GENERALITES

L'analyse menée lors de la phase informative a permis d'identifier un certain nombre d'aléas potentiels. Ces aléas sont directement liés aux caractéristiques du gisement, aux méthodes d'exploitation mises en œuvre et aux traitements opérés pour leur mise en sécurité.

Les aléas potentiels identifiés peuvent être regroupés de la façon suivante :

- effondrement localisé dans les anciens travaux situés à faible profondeur (moins de 50 m) ;
- effondrement localisé par rupture d'un puits insuffisamment traité ;
- tassement, de glissement ou d'échauffement sur les ouvrages de dépôts ;
- émission de gaz de mine, d'échauffement ou de feu dans les chantiers les plus proches de la surface.

La description des phénomènes et la quantification des aléas sont présentées en annexe 3.

4.2. ALEAS MOUVEMENT DE TERRAIN LIES AUX TRAVAUX SOUTERRAINS

4.2.1. ALEA EFFONDREMENT LOCALISE LIE AUX ANCIENS TRAVAUX SITUES A FAIBLE PROFONDEUR (MOINS DE 50 M)

La phase informative a montré que des travaux situés à moins de 50 m de profondeur étaient susceptibles d'avoir été réalisés. La présence de vides situés à faible profondeur est susceptible d'engendrer l'apparition en surface d'effondrements localisés appelés fontis.

Afin d'évaluer si un phénomène de fontis pouvait se produire, des simulations de remontées de fontis ont été réalisées pour calculer la hauteur de montée de voûte. Le logiciel, mis au point par l'INERIS, qui a été utilisé pour ces calculs repose sur le principe de déplacement volumique.

Une étude de sensibilité a été réalisée en faisant varier les paramètres tels que les dimensions des galeries, le taux de foisonnement (pour tenir compte de la variation des terrains). La hauteur d'auto-comblement ainsi obtenue est égale à une trentaine de mètres pour une galerie

isolée⁴. Ces valeurs, comparées à la hauteur des terrains de recouvrement des travaux miniers, permettent d'évaluer si le fontis peut déboucher en surface ou pas.

L'expérience montre que, pour de tels travaux, les fontis en surface sont, le plus souvent, de inférieurs à 5 m de diamètre. L'intensité du phénomène est proportionnelle au diamètre de l'effondrement attendu et donc à l'épaisseur des terrains de recouvrement. L'analyse des données disponibles a montré que l'épaisseur des terrains superficiels peu cohérents n'excédait pas 5 m. Ce diamètre peut être ensuite limité par le volume des vides disponibles. Avec des largeurs de galerie variant entre 1,5 m et 3 m et une ouverture maximale de 2m, la dimension du fontis en surface restera dans tous les cas inférieure à 10 m de diamètre. L'intensité du phénomène peut donc être qualifiée de « limitée » à « modérée ».

Aucun fontis n'a été signalé ou observé jusqu'à présent sur le Boulonnais, hormis l'effondrement de la descenderie Christian. Par ailleurs, la présence de vides est plus suspectée que réellement démontrée. Aussi, la prédisposition est jugée peu sensible.

Rappelons que l'épaisseur du recouvrement a été estimée à 25 – 30 m d'épaisseur au minimum à l'aplomb des exploitations. Même si la présence d'une exploitation dans les secteurs supposés à moins de 50 m n'est qu'une simple hypothèse non confirmée par Olry, nous ne pouvons exclure totalement la présence de vides dans cette frange de terrain. Un aléa « effondrement localisé » faible est donc retenu à l'aplomb des zones de travaux susceptibles d'être localisées à moins de 30 m de profondeur.

La majorité de l'aléa est localisée dans le bois de Fiennes. Cependant, il s'étend au sud du bois, sur la commune d'Hardinghen. Plus d'une dizaine d'habitations situées le long de la route départementale 191 se trouvent à l'aplomb de la zone d'aléa.

4.2.2. ALEA EFFONDREMENT LOCALISE PAR EBOULEMENT D'UNE GALERIE ISOLEE

D'après les archives, il existe un seul ouvrage de ce type, la descenderie Christian. La galerie a une section de 2 m x 2 m et une pente de 50°.

Afin d'évaluer si un phénomène de fontis pouvait se produire, des simulations de remontées de fontis ont été réalisées pour calculer la hauteur de montée de voûte. Cette simulation tient compte du pendage de la galerie. En effet, l'inclinaison de la descenderie facilite l'écoulement des éboulis en aval de la galerie et minimise ainsi le processus d'auto-comblement. La hauteur d'auto-comblement ainsi obtenue est égale à environ 26 m si l'on considère que la galerie mesure 40 m de long et qu'elle a un pendage de 50°.

La section de la galerie (2 m x 2 m) et les dimensions de la cuvette créée en 1918 (4 à 5 m de diamètre) conduisent à attribuer une intensité modérée à l'effondrement de cet ouvrage et

⁴ Les calculs ont été effectués en pondérant les caractéristiques des terrains de recouvrement selon leur épaisseur et en considérant un banc de wealdien de 1,5 m d'épaisseur : coefficient de foisonnement égal à 1,3 et angle de talus égal à 31°

donc un aléa « effondrement localisé » moyen à l'aplomb de la descenderie jusqu'à 26 m de profondeur.

La zone d'aléa associée à la descenderie est située dans le bois de Fiennes. Il n'y a aucun enjeu dans ce secteur.

4.2.3. ALEA EFFONDREMENT LOCALISE PAR RUPTURE D'UNE TETE DE PUIITS

Seize puits ont été recensés sur la concession de Fiennes. Deux types d'ouvrages sont distingués sur la concession de Fiennes :

- les puits dont la profondeur est réduite, soit tous les puits de la première période (< 55 m de profondeur) creusés par l'intermédiaire de tourets ainsi que toutes les avaleresses (< 60 m de profondeur) ;
- les puits de plus grandes dimensions, soit tous les puits d'exploitation de la seconde période (> 230 m de profondeur et 2,6 m de diamètre), pour lesquels les conséquences seraient plus importantes en cas d'effondrement de la tête de puits.

La consultation des archives laisse à penser que les ouvrages les plus récents aurait été remblayés de manière partielle, c'est-à-dire en constituant un bouchon de remblai en tête de puits reposant sur un plancher en bois. Pour les plus anciens, un remblayage simple paraîtrait plus probable.

Deux phénomènes peuvent résulter d'une instabilité affectant une ancienne tête de puits :

- le premier résulte de l'effondrement de la surface du sol situé à l'aplomb direct de l'ancien ouvrage. Deux raisons peuvent générer cette rupture :
 - l'effondrement de la structure mise en place en tête d'un puits vide (plancher en bois, voûte en briques, dalle, bouchon...) ;
 - le débouillage d'un puits remblayé ;
- le second phénomène est une aggravation du premier et peut l'accompagner, notamment dans le cas du débouillage d'un très vieux puits. Il concerne la rupture possible des terrains environnants la tête de puits qui s'écoulent dans le puits après l'effondrement de tout ou partie du revêtement de l'ouvrage. Concernant ce phénomène, l'ancienneté et l'état de dégradation du revêtement du puits ainsi que la présence et l'épaisseur de terrains sans cohésion en sub-surface constituent autant de facteurs favorables au développement d'un effondrement qui peut, parfois, déborder très largement de l'emprise stricte du puits.

En s'appuyant sur ces considérations, l'intensité a donc été qualifiée de limitée pour les puits les plus anciens et de modérée pour les puits de la seconde période. La prédisposition, quant à elle, a été jugée de peu sensible pour les puits les plus anciens et de sensible pour les puits les plus récents excepté pour la fosse du Bois de Fiennes non localisée par Olry et dont l'existence semble incertaine. Par conséquent, nous retiendrons :

- un aléa moyen pour les puits de la seconde période d'exploitation, excepté la fosse du Bois de Fiennes ;
- un aléa faible pour les puits de la première période d'exploitation et la fosse du Bois de Fiennes.

La qualification de l'aléa associé à ces ouvrages est reprise dans le tableau 3 ci-après.

	Nom du puits	Incertitude de positionnement	Intensité	Prédisposition	Aléa	Rayon de l'aléa	Remarque
PREMIERE PERIODE (1735-1810)	De la COMMUNE	35 m	limitée	peu sensible	faible	40 m	<i>Avaleresse</i>
	des LIMITES sur Fiennes	35 m	limitée	peu sensible	faible	40 m	
	SEGARD (ou coin du bois)	35 m	limitée	peu sensible	faible	40 m	
	Du FORT ROUGE	35 m	limitée	peu sensible	faible	40 m	
	SANS-PAREILLE (+ puits d'aéragé)	35 m	limitée	peu sensible	faible	40 m	
	La HURIE	35 m	limitée	peu sensible	faible	40 m	
	ESPOIR	100 m	limitée	peu sensible	faible	105 m	
	De la MACHINE (+ puits d'aéragé)	100 m	limitée	peu sensible	faible	105 m	<i>Avaleresse</i>
	ESPOIR N°1	35 m	limitée	peu sensible	faible	40 m	
SECONDE PERIODE (1837-1849)	ESPOIR n°2 (ou Nouvel Espoir)	35 m	modérée	sensible	moyen	40 m	
	BOULONNAISE	35 m	modérée	sensible	moyen	40 m	
	SAINTE-BARBE	35 m	limitée	sensible	moyen	40 m	<i>Avaleresse</i>
	VIEILLE GARDE	35 m	limitée	sensible	moyen	40 m	<i>Avaleresse</i>
	BOIS DE FIENNES	35 m	limitée	sensible	faible	40 m	<i>Avaleresse</i>

Tableau 3 : aléa associé aux puits de la concession de Fiennes

Tous les aléas associés aux puits sont situés dans le bois de Fiennes. Aucun enjeu ne se trouve à l'aplomb des zones d'aléa.

4.2.4. ALEA AFFAISSEMENT/TASSEMENT

L'aléa affaissement concerne les exploitations situées à plus de 50 m de profondeur. Dans la concession de Fiennes, les travaux miniers souterrains sont très anciens (les travaux sont terminés depuis 1849). Il s'agit d'exploitations totales. Il n'est pas exclu que quelques vides résiduels subsistent mais leur extension est limitée. Les travaux sont ennoyés et le niveau d'eau est stabilisé. Aucun aléa « affaissement » relatif aux travaux miniers souterrains n'a été retenu.

L'aléa tassement concerne généralement les travaux situés à faible profondeur. Elle correspond à une épaisseur de terrain dans laquelle des fontis sont susceptibles d'avoir été autocomblés et donc d'entraîner un phénomène de tassement en surface sans qu'ils ne soient apparus jusqu'au jour. L'ordre de grandeur des tassements attendus est de quelques centimètres. Il s'agit donc d'un phénomène d'intensité limitée. Un aléa tassement de niveau faible est retenu pour mémoire à l'aplomb des travaux situés à moins de 50 m de profondeur sur la concession de Fiennes, dont la finalité est de prévenir ces sites de toute utilisation ou aménagement inadapté, voire préjudiciable à leur tenue, sans prendre de mesures élémentaires de prévention. Cet aléa se superposant à l'aléa effondrement localisé dont l'effet est plus prononcé, il ne sera pas représenté graphiquement.

4.3. ALEAS MOUVEMENT DE TERRAIN LIES AUX OUVRAGES DE DEPOTS

Sept terrils ont été répertoriés sur la concession de Fiennes, de dimensions généralement modestes (hauteur inférieure à 4 m). Seuls les terrils de l'Espoir et de la fosse Sans Pareil sont plus importants, leurs hauteurs étant estimées respectivement à quinze de mètres et 6-7 m. L'ensemble des terrils est fortement végétalisé et ne présente aucun désordre. Les pentes sont très faibles, hormis pour le terril de l'Espoir.

De manière générale, deux types de phénomène peuvent être redoutés sur ce type de dépôt :

- les phénomènes de tassement : compte tenu de l'épaisseur plutôt moyenne voire faible des dépôts, de la nature des composants et de l'âge des dépôts, on peut raisonnablement qualifier la prédisposition du site au phénomène de tassement de peu sensible à sensible. La sensibilité naturelle des ouvrages de dépôts aux phénomènes de tassements est liée à leur hétérogénéité. Elle conduit à leur attribuer un aléa « tassement » faible dont la finalité est de prévenir ces sites de toute utilisation ou aménagement inadapté, voire préjudiciable à leur tenue, sans prendre de mesures élémentaires de prévention ;
- les phénomènes de glissement : compte tenu des dimensions et de la géométrie des ouvrages, seul le terril de l'Espoir est susceptible d'être concerné par ce phénomène, en particulier côté ouest où aucune banquette ne vient couper la pente raide sur une quinzaine de mètres de hauteur, contrairement au autres versants. Néanmoins, les volumes susceptibles d'être mis en jeu restent très faibles. L'intensité sera donc qualifiée de limitée. Le terril est fortement végétalisé, ce qui limite le phénomène d'érosion et donc les glissements. La prédisposition est qualifiée de peu sensible. Au final, il est retenu un aléa glissement de niveau faible pour le terril de l'Espoir.

4.4. ALEA LIE AUX ECHAUFFEMENTS ET AUX FEUX

Les observations de terrain ainsi que la recherche d'archives ne révèlent aucun désordre lié à l'échauffement. Par ailleurs, ces observations semblent indiquer que les terrils contiennent très peu de matières combustibles. Bien qu'aucune information ne soit disponible sur la nature exacte des matériaux constituant ces ouvrages, l'âge ancien des terrils, leurs faibles dimensions et le fait qu'ils soient entièrement végétalisés amène à penser que l'aléa échauffement peut raisonnablement être écarté.

Les travaux souterrains, quant à eux, sont totalement enoyés et ce depuis plusieurs décennies. L'aléa échauffement au fond est également écarté pour ces ouvrages.

4.5. ALEA LIE AU GAZ DE MINE

D'après des archives et observations, les puits de la concession de Fiennes sont soit remblayés totalement, soit partiellement. De même, on peut considérer que la descenderie Christian est partiellement remblayée puis que des fontis l'on affecté dans la partie proche de la surface. Ces ouvrages débouchant au jour peuvent être considérés comme un drain favorisant l'émission de gaz en surface. La nature des remblais n'est pas connue. Le gaz pourrait s'accumuler dans la partie non enoyée des remblais ou dans les vides en tête de colonne et migrer vers la surface.

Néanmoins, le volume disponible pour l'accumulation de gaz est très réduit, d'une part par un très faible tonnage de charbon exploité et d'autre part, par le fait que les anciens travaux et les vides d'exploitation sont ennoyés. Enfin, le niveau des eaux souterraines est a priori stabilisé. Par ailleurs, la nappe est proche de la surface. La prédisposition des vieux travaux à émettre du gaz de mine par les terrains ou par les puits peut donc être qualifiée de nulle.

Ainsi l'aléa lié aux gaz susceptibles d'être émis à travers les terrains ou par les ouvrages débouchant au jour n'est pas retenu.

5. CARTOGRAPHIE DES ALEAS

La représentation des contours des zones d'aléas s'établit en définissant une marge de sécurité, qui comprend :

- une marge d'influence, correspondant à la zone en bordure susceptible d'être influencée par l'évolution du désordre attendu (cône d'effondrement pour les puits ou zone de glissement pour les terrils) ;
- une marge d'incertitude qui matérialise les incertitudes de positionnement des ouvrages miniers dues à la précision des données disponibles (plans, levé topographique, points de calage, report fond-jour des travaux...).

Dans le cas de la concession de Fiennes, les incertitudes de calage des contours des travaux miniers sont importantes du fait de l'ancienneté des travaux et des plans. Dans un premier temps, il a été procédé à un calage du plan d'Olry au 1 / 10 000^{ème} par l'INERIS. L'INERIS a ensuite mesuré, suite au calage du plan selon des points remarquables (croisement de chemin, de route, maison) présents sur le plan et sur la BDortho, la distance entre les points relevés sur le terrain au GPS et ceux présents sur le plan Olry calé. Il est important de noter que sur le plan d'Olry, l'épaisseur du point d'un puits est de 8 m. Il s'agit donc de l'incertitude minimale.

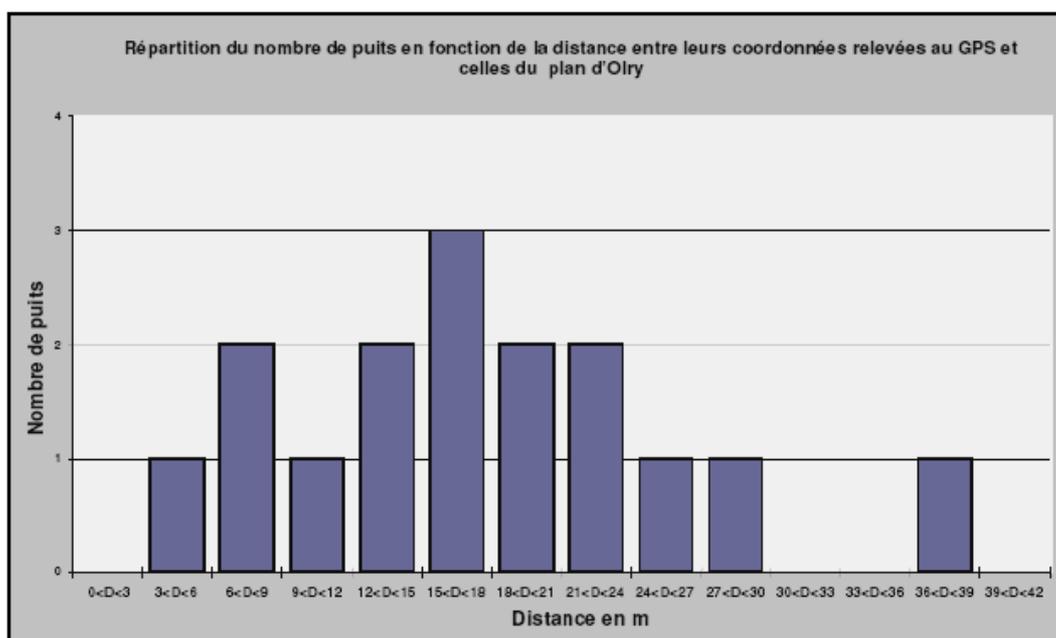


Figure 1 : Histogramme de répartition du nombre de puits en fonction du Δ

L'histogramme ci-dessus présente le nombre de puits en fonction de ce Δ . La valeur de 37 m correspond à un point excentré sur le plan d'Olry (erreur importante sur les bords). Ainsi ce point n'est pas du tout représentatif et il ne sera pas pris en compte. C'est donc l'histogramme sans cette valeur biaisée qui va nous permettre de déterminer l'incertitude. Compte tenu de la répartition obtenue, la valeur maximale d'incertitude est de 30 m. Cependant cette analyse est basée sur 15 puits retrouvés sur les 91 présents sur le plan Olry. Nous ne pouvons donc pas exclure que certains puits se trouvent en dehors du périmètre d'incertitude. Si nous estimons que la répartition est assimilable à une courbe dont la valeur moyenne est 17 m, nous pouvons estimer que l'incertitude maximale est de **35 m**.

Pour les puits mentionnés dans les archives mais non représentés sur le plan d'Olry, une incertitude de **100 m** a été retenue.

La zone de travaux située à moins de 50 m de profondeur a été déterminée à partir de l'analyse des informations disponibles sur les ouvrages et en particulier des puits de la concession d'Hardinghen. La même incertitude que pour les puits sera donc retenue, à savoir **35 m**.

Les ouvrages visibles (descenderie et terrils) ont été positionnés sur le Scan25 de l'IGN. L'incertitude de positionnement de cet outil cartographique est évaluée à 15-20 m. Une incertitude de **20 m** a donc été retenue pour la descenderie et les terrils.

Concernant la marge d'influence, une valeur de **5 m** a été attribuée à l'aléa effondrement localisé dans les anciens travaux situés à faible profondeur (galeries isolées ou travaux) et pour l'aléa associé au puits. Pour l'aléa glissement associé au terril de l'Espoir, une marge de sécurité forfaitaire de **10 m** a été retenue. L'aléa tassement est circonscrit à l'emprise des terrils.

Les cartes des annexes 5 et 6 présentent les aléas mouvements de terrains respectivement associés aux ouvrages débouchant au jour et travaux souterrains, et aux ouvrages de dépôts, à l'échelle 1 / 5 000.

6. CONCLUSION

L'étude des travaux miniers de la concession de Fiennes lors de la phase informative a mis en évidence un certain nombre d'aléas potentiels :

- effondrement localisé dans les anciens travaux situés à faible profondeur (moins de 50 m) ;
- effondrement localisé par rupture d'un puits insuffisamment traité ;
- tassement, de glissement ou d'échauffement sur les ouvrages de dépôts.

L'aléa effondrement localisé associé à un puits a été qualifié de faible ou moyen en fonction des caractéristiques des ouvrages. L'ensemble des autres types d'aléa a été qualifié de faible.

Ces aléas sont situés principalement dans le Bois de Fiennes. Un petit secteur déborde cependant sur la commune d'Hardinghen, au sud du Bois de Fiennes. Plus d'une dizaine de maisons sont concernées.

7. LISTE DES ANNEXES

Annexe	Intitulé	Nb page
1	Carte de localisation de la concession du Fiennes	1
2	Inventaires et caractéristiques des puits de la concession de Fiennes	2
3	Description des différents phénomènes susceptibles d'être rencontrés sur la concession de Fiennes et qualification de l'aléa (extrait du guide PPRM)	4
4	Carte informative de la concession de Fiennes au 1 / 5 000	1
5	Carte des aléas mouvement de terrain de la concession de Fiennes au 1 / 5 000 – Ouvrages débouchant au jour et travaux souterrains	1
6	Carte des aléas mouvement de terrain de la concession de Fiennes au 1 / 5 000 – Ouvrages de dépôts	1

ANNEXES

Annexe 1

Carte de localisation de la concession de Fiennes

Annexe 2

Inventaires et caractéristiques des puits de la concession de Fiennes

	Nom du puits	Numéro BSS	Coordonnées théoriques de CdF (Lambert I Nord)		Incertitude	Profondeur [profondeur avec tourets]	Profondeur de la première veine de houille exploitée d'après Olry	Epaisseur des morts terrains	Caractéristique du puits		Date d'ouverture	Date de fermeture	Veines exploitées d'après Olry [Veines rencontrées]
			X Lambert	Y Lambert					Forme	Dimension			
PREMIERE PERIODE (1735-1810)	De la COMMUNE	65X0087/PH	563310	345950	35 m	43 m	-	43 m			1791	?	Avaleresse
	des LIMITES sur Fiennes	65X0043/PH	562525	346030	35 m	Premier touret supposé à 53 m	Supposée vers 100 m	?			Vers 1791	1812	Terrain houillier
	SEGARD (ou coin du bois)	65X0077/PH	563090	346020	35 m	53 m [114 m]	68 m	28 m			1740	?	Deux Laies
	Du FORT ROUGE	65X0036/PH	562880	346145	35 m	53 m [173 m]	Supposée vers 100 m	Supposé 25 m			1740	?	Cuerelles Maréchale Deux Laies
	SANS-PAREILLE (+ puits d'aérage)	65X0035/PH	562505	346190	35 m	52 m [230 m] (puits descendrière jusqu'à 268 m)	132 m (puits 163, 196 et 224 m)	27 m		2 m x 1,5 m	1758	1784	Cuerelles Maréchale Deux Laies [Vieille Maison Boulets]
	La HURIE	65X0078/PH	562795	346040	35 m	165 m Premier touret supposé à 53 m	52 m (puits les autres à 96 et 135 m)	33 m			1740	1784	Boulets Cuerelles Maréchale Deux Laies
	ESPOIR	-	562600	346120	100 m	Premier touret supposé à 53 m	Supposée vers 150 m	?			1784	1792	Cuerelles Maréchale Deux Laies
	De la MACHINE / 1 et 2	-	-	-	100 m	Supposée inférieure à 53 m	-	?	carrée	1,46 m	1737	1737	Avaleresse
	ESPOIR N°1	65X0033/PH	562460	346245	35 m	52 m [99 m]	99 m	?			1784	1792	Vieille Maison

	Nom du puits	Numéro BSS	Coordonnées théoriques de CdF (Lambert I Nord)		Incertitude	Profondeur [profondeur avec tourets]	Profondeur de la première veine de houille exploitée d'après Olry	Epaisseur des morts terrains	Caractéristique du puits		Date d'ouverture	Date de fermeture	Veines exploitées d'après Olry [Veines rencontrées]
			X Lambert	Y Lambert					Forme	Dimension			
SECONDE PERIODE (1837-1849)	ESPOIR n°2 (ou Nouvelle Espoir)	65X0034/PH	562430	346250	35 m	270 m (puis descenderie à 362 m)	132 m (accrochage à 160, 172, 193, 240, 253, 265 m)	24 m	circulaire	2,6 m	1838	1858	7 veines exploitées dont principalement Cuerelles Maréchale Deux Laies [12 veines]
	BOULONNAISE	65X0037/PH	562700	346130	35 m	230 m	145 m (accrochage à 175 et 187 m)	27 m	circulaire	2,6 m	1838	1850	Cuerelles Maréchale Deux Laies [7 veines]
	SAINTE-BARBE	65X0032/PH	562280	346370	35 m	51 m	-	22 m	octogonale	2,6 m	1838	1847	<i>Avaleresse</i>
	VIEILLE GARDE	65X0088/PH	563190	346055	35 m	60 m	-	29 m			1838	1845	<i>Avaleresse</i>
	BOIS DE FIENNES		562300	346470	35 m	?	-	?				?	<i>Avaleresse</i>

Annexe 3

Description des phénomènes et qualification de l'aléa

Description des phénomènes

1. Les tassements

Définition et effets

Dans le cadre de l'après-mine, on parle de tassements lorsque les mouvements du sol ne résultent pas de l'extraction, de la combustion ou de la dissolution du minerai mais s'expliquent par la recompaction d'un massif meuble (amas de matériaux granulaires) ou affecté par les travaux souterrains (terrains foudroyés).

Sous l'action de perturbations extérieures (applications de surcharge en surface, mouvements de nappes au sein des terrains concernés, sollicitations vibratoires...) ou sous l'effet de leur propre poids, les terrains qui présentent une forte porosité peuvent être amenés à se tasser et donner naissance à des mouvements de faible ampleur en surface (sauf exception, l'amplitude maximale est d'ordre décimétrique).

Ce type de manifestation peut avoir des conséquences assez similaires avec le phénomène naturel de retrait-gonflement des sols argileux, sous l'effet de battements de nappe ou de variations du profil hydrique dans le proche sous-sol.

Les conséquences redoutées résultent principalement du fait que la surface peut être affectée par des tassements différentiels qui sont susceptibles d'engendrer des effets sur les bâtiments et les infrastructures.

Mécanismes ou scénarios initiateurs

Anciennes exploitations menées par foudroyage du toit ou anciennes zones effondrées

Même si la majorité des terrains exploités à l'aide d'une méthode induisant le foudroyage du toit (exploitation par taille ou par piliers dépilés) sont sujets, durant la phase de mouvements résiduels, au développement de tassements, les manifestations les plus perceptibles se développent à l'aplomb des secteurs peu profonds (quelques dizaines de mètres sous la surface).

Dans ces conditions, en effet, le poids des terrains surmontant les anciens chantiers miniers n'est pas suffisant pour garantir une recompaction complète des terrains foudroyés au cours des années suivant les travaux d'extraction. Ceci permet la persistance d'une porosité artificielle élevée proche de la surface.

2. Les affaissements progressifs

Définition et effets

L'affaissement se manifeste par un réajustement des terrains de surface induit par l'éboulement de cavités souterraines résultant de l'extraction ou de la disparition (dissolution, combustion) de minerai. Les désordres, dont le caractère est généralement lent, progressif et souple, prennent la forme d'une dépression topographique, sans rupture cassante importante, présentant une allure de cuvette.

Ce type de manifestation concerne aussi bien les exploitations en plateure menées à grande profondeur (plusieurs centaines de mètres) et présentant des extensions horizontales

importantes que les exploitations filoniennes ayant laissé des vides résiduels importants après extraction.

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

Généralement, ce ne sont pas tant les déplacements verticaux qui affectent principalement les bâtiments et infrastructures de surface, mais plutôt les déformations du sol (déplacements différentiels horizontaux, flexions, mise en pente...). En fonction de leur position au sein de la cuvette d'affaissement, les déplacements différentiels horizontaux peuvent prendre la forme de raccourcissements (zones en compression vers l'intérieur de la cuvette) ou d'extension (zones en traction vers l'extérieur de la cuvette).

Les déformations et les pentes sont proportionnelles à l'affaissement maximum au centre de la cuvette et inversement proportionnelles à la profondeur de l'exploitation. Ainsi, pour une même épaisseur exploitée, les effets seront d'autant plus faibles que l'exploitation est profonde.

Comme la plupart des autres phénomènes d'instabilité, les affaissements miniers ne se limitent pas au strict aplomb des contours de travaux souterrains. On appelle « angle d'influence », l'angle défini entre la verticale et la droite joignant la bordure souterraine de l'exploitation et la limite extérieure de la cuvette d'affaissement en surface. En fonction de la nature et de l'épaisseur des terrains constituant le recouvrement, l'angle d'influence varie classiquement entre une dizaine et une quarantaine de degrés en plateau. L'existence d'un pendage influe également directement sur les valeurs de l'angle d'influence, tout comme la présence d'accidents géologiques majeurs (failles).

Mécanismes ou scénarios initiateurs

Cas des exploitations totales menées dans des terrains stratifiés

Toute exploitation par tailles ou par dépilage, quelle qu'en soit la profondeur, induit forcément un éboulement ou foudroyage des premiers bancs du toit des travaux souterrains. Cet éboulement génère la formation de blocs de formes et de tailles variables qui, en s'enchevêtrant, permet la persistance de vides résiduels et, de fait, une augmentation, souvent sensible, entre le volume occupé par les éboulis et celui qu'occupaient les terrains en place.

Ce phénomène, appelé « foisonnement », permet aux matériaux éboulés de remplir la cavité d'exploitation ainsi que le volume des terrains initialement en place, ce qui a pour conséquence de stopper le phénomène d'éboulement, les terrains sus-jacents trouvant appui sur le tas d'éboulis. Ces éboulis présentant une forte compressibilité, les bancs rocheux sus-jacents préalablement découpés par les discontinuités naturelles qui les affectent, fléchissent progressivement avec, pour conséquence, la formation d'une cuvette en surface.

L'amplitude des affaissements étant directement proportionnelle à l'ouverture des travaux, il n'est pas rare que, durant la période d'exploitation, les terrains de surface soient descendus de plusieurs mètres, voire, plus exceptionnellement, de plus d'une dizaine de mètres.

Le retour d'expérience disponible sur différents bassins miniers français et européens indique que la quasi-totalité de l'affaissement se produit durant l'extraction et que la durée de l'affaissement résiduel se limite à quelques années. Au-delà, les risques de reprise d'affaissement (ou de remontée de la surface du sol) résultent de variations importantes des

conditions environnementales (ennoyage ou dénoyage des travaux, application de surcharges en surface) et affectent principalement les exploitations les moins profondes. Ils correspondent, de fait, pleinement au phénomène de tassement décrit plus haut.

Cas des exploitations partielles en terrains stratifiés

Dans le cas d'exploitations partielles, l'éboulement des travaux souterrains résulte de la rupture progressive des éléments assurant la stabilité de l'ouvrage minier (piliers, intercalaires entre couches, toit, mur). Le phénomène peut donc être initié plusieurs années ou décennies après la fermeture des travaux, suite à l'évolution de la résistance des roches. Lorsque l'éboulement des travaux miniers est réalisé sur une surface suffisante, les mécanismes de foisonnement et de flexion des bancs sus-jacents sont similaires au cas des exploitations totales par taille ou défilage.

L'intensité de l'affaissement reste proportionnelle à l'ouverture des travaux souterrains. Il n'est donc pas rare que les mouvements verticaux observés puissent dépasser une amplitude d'ordre métrique. L'ampleur des mouvements est également proportionnelle au taux de défrètement. En effet, plus les piliers sont volumineux, plus ils occupent de l'espace en souterrain et limitent ainsi l'amplitude du mouvement.

On peut décomposer l'affaissement à l'aplomb d'exploitations partielles en trois phases distinctes.

La première phase, dite « de mise en place », peut s'avérer très longue (plusieurs années à plusieurs centaines d'années). Elle se traduit par un affaiblissement progressif des piliers sous l'effet cumulé du temps, de la pression des terrains de couverture et des paramètres environnementaux régnant au sein de l'édifice minier (eau, température...).

La seconde phase, dite « d'affaissement », intervient lorsque le phénomène de rupture des piliers s'initie au sein de l'ouvrage minier, sous l'effet possible d'un facteur déclenchant (modification de l'état de contrainte ou des paramètres environnementaux, par exemple). Elle se développe classiquement sur une période variant de quelques jours à plusieurs mois, durant laquelle la plus grande partie de l'affaissement se donne en surface. C'est donc la phase la plus critique durant laquelle un suivi attentif de l'évolution des structures présentes en surface peut s'avérer nécessaire.

La phase ultime, dite « résiduelle », correspond à l'affaissement résiduel. Si cette phase peut se prolonger sur des périodes assez longues (plusieurs années), les mouvements résiduels sont généralement très limités et, la plupart du temps, non décelables en surface.

Les effondrements localisés

Définition et effets

Un effondrement localisé se caractérise par l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont l'extension horizontale varie généralement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de diamètre. La profondeur du cratère dépend principalement de la profondeur et des dimensions des travaux souterrains. Si, dans la majorité des cas, cette profondeur se limite à quelques mètres, dans certaines configurations particulières, elle peut atteindre, voire dépasser, une dizaine de mètres (effondrements de tête de puits, par exemple).

En fonction du mécanisme initiateur du désordre et de la nature des terrains de sub-surface, les parois du cratère peuvent être sub-verticales ou inclinées, donnant ainsi naissance à une forme caractéristique d'entonnoir.

Les dimensions du désordre et le caractère brutal de sa manifestation en surface font des effondrements localisés des phénomènes potentiellement dangereux, notamment lorsqu'ils se développent au droit ou à proximité de secteurs urbanisés.

Mécanismes ou scénarios initiateurs

L'effondrement localisé par rupture du toit d'une galerie : le phénomène de fontis

On parle de **fontis** lorsque l'instabilité qui affecte la surface résulte de la remontée au jour d'un éboulement initié au sein d'une excavation souterraine (galerie, chambre d'exploitation...). Lorsque la voûte initiée par la rupture du toit de l'excavation ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface et, si l'espace disponible au sein des vieux travaux est suffisant pour que les matériaux éboulés et foisonnés puissent s'y accumuler sans bloquer le phénomène par « auto-comblement », la voûte peut atteindre la surface du sol. Si le développement d'une montée de voûte est un phénomène très lent qui peut prendre plusieurs années ou décennies, l'apparition du fontis en surface se fait, quant à elle, de manière soudaine, ce qui rend le phénomène potentiellement dangereux pour les personnes et les biens situés dans son emprise.

L'apparition de ce type de désordre en surface ne concerne que les travaux peu profonds. Les retours d'expériences menées sur plusieurs bassins miniers ont ainsi montré que, sauf spécificité géologique ou d'exploitation, au-delà d'une cinquantaine de mètres de profondeur (et parfois moins), les anciens vides miniers n'étaient plus susceptibles de provoquer ce phénomène en surface.

L'effondrement par rupture de pilier(s) isolé(s)

Au sein d'une exploitation menée par la méthode des chambres et piliers abandonnés, la ruine d'un (ou de quelques) pilier(s) peut se traduire, en surface, par un effondrement lorsque la profondeur des travaux et la raideur du recouvrement ne sont pas suffisamment importantes. On parle alors de **rupture de pilier(s) isolé(s)**.

La dimension de la zone affectée en surface est généralement plus importante que celle résultant d'un simple fontis mais sensiblement plus réduite que dans le cas d'un effondrement généralisé décrit plus loin. Comme les fontis, les ruptures de piliers isolés sont des phénomènes purement locaux qui ne dépendent pas de la géométrie globale des exploitations mais uniquement de conditions locales défavorables.

Ces conditions défavorables peuvent résulter de la méthode d'exploitation ayant conduit, dans certains secteurs, à des extractions locales trop intensives laissant des piliers sous-dimensionnés, fragilisés ou mal superposés. Elles peuvent aussi résulter d'hétérogénéités géologiques (zones fracturées ou faillées, venues d'eau...).

Comme les fontis, l'apparition de ce type de désordre en surface ne concerne que les travaux peu profonds.

L'effondrement d'une tête de puits

Un ancien puits d'exploitation, mal remblayé (à l'aide de matériaux qui peuvent être remobilisés, notamment en présence d'eau), peut débousser, c'est-à-dire voir son remblai s'écouler au sein des ouvrages souterrains auquel il est raccordé, avec pour conséquence la formation d'un cratère présentant les mêmes dimensions que la colonne du puits.

Ce déboussage peut, dans certains cas (assez fréquents lorsqu'il s'agit de très vieux puits), s'accompagner, ou être suivi, d'une rupture du revêtement du puits et d'un effondrement des terrains peu compétents environnants, comme le sont généralement les terrains superficiels. Il se produit alors un cône d'effondrement dont les dimensions dépendent des caractéristiques géologiques et mécaniques locales des terrains.

La manifestation en surface peut ainsi se restreindre à un cratère de petite taille (quelques mètres de diamètre au maximum) ou générer des désordres plus importants (diamètre pouvant dépasser une dizaine de mètres).

L'effondrement de la surface peut également résulter de la rupture de l'ouvrage réalisé en tête de puits (platelage en bois, dalle de surface, bouchon mal dimensionné...). Dans ce cas, l'effondrement se circonscrit généralement au seul diamètre de puits, la rupture des terrains environnants n'étant qu'exceptionnelle.

Les glissements ou mouvements de pente

Définition et effets

Les mouvements de pente, qu'ils soient superficiels ou profonds (glissements, ravinements), constituent le type de désordres le plus couramment observé le long des flancs des ouvrages de dépôts ou des versants de découvertes creusées en roche meuble.

Mouvements superficiels

Il s'agit de phénomènes généralement lents et mettant en jeu des volumes de matériau restreints (quelques dizaines de m³). Ils prennent principalement la forme de glissements pelliculaires ou de rigoles de ravinement, parfois profondes, avec pour conséquence l'épandage de matériau en pied. Si les éboulis ne sont pas remaniés, la configuration redevient stable et l'instabilité cesse.

Si ce type de phénomènes induit fréquemment des nuisances paysagères, il est relativement rare que des risques pour les personnes et les biens en résultent directement, tant en pied qu'en crête de talus. Les éléments éboulés peuvent toutefois contribuer à affecter l'écoulement de cours d'eau situés en aval immédiat du pied. D'autre part, lorsque les crevasses de ravinement atteignent des profondeurs importantes (jusqu'à plusieurs mètres) et présentent des parois sub-verticales, des risques de chutes de personnes dans ces « canyons » ainsi que des risques de chutes de pierres ou d'ensevelissement sous des éboulements de parois doivent être pris en compte.

Le développement d'instabilités superficielles peut favoriser le déclenchement d'une rupture de plus grande ampleur et devra donc, systématiquement, être pris en considération. Une attention toute particulière doit ainsi être accordée au développement de ce type de désordres le long des flancs de digues de rétention. En effet, un affaiblissement, même limité, des ouvrages de rétention des résidus liquides ne doit, en aucun cas, être négligé.

Mécanismes ou scénarios initiateurs

La rupture d'un flanc de talus intervient lorsque les forces motrices (de pesanteur et hydrauliques) qui tendent à le mettre en mouvement deviennent supérieures aux forces résistantes (résistance au cisaillement des matériaux) qui s'opposent pour leur part aux déformations et aux glissements des pentes. C'est généralement le développement de perturbations affectant les conditions environnementales caractérisant le talus qui constitue l'élément déclencheur de la rupture (mauvaise gestion des eaux, topographie des flancs mal adaptée, affaiblissement du pied de talus, rupture des terrains d'assise, activité humaine ou animale...).

Le dégagement de gaz de mine

Définition et effets

Le phénomène d'émission de gaz de mine en surface, susceptible d'engendrer des dangers pour les personnes et les biens, ne concerne pratiquement que les exploitations minières souterraines. Ces exploitations peuvent, en effet, réunir trois éléments nécessaires pour l'apparition du phénomène redouté :

- la présence de vides constituant un réservoir souterrain ;
- la présence de gaz dangereux ;
- la possibilité d'accumulation et de migration de ces gaz, à des teneurs significatives, vers la surface.

Les vides résultant de l'activité minière présentent un espace permettant un dégagement ou une accumulation de gaz de mine. Lors de l'exploitation, ces gaz sont dilués et évacués par la ventilation. Après l'arrêt de l'exploitation, les vides miniers, s'ils ne sont pas ennoyés en totalité, constituent un véritable réservoir souterrain plus ou moins confiné, dans lequel les gaz peuvent s'accumuler à des concentrations élevées.

Le gaz de mine présent dans le réservoir minier souterrain peut, sous certaines conditions, migrer en quantité significative vers la surface. Cette migration peut se faire de manière privilégiée au travers d'anciens ouvrages reliant les travaux souterrains à la surface (puits, descenderies, galeries d'accès, sondages..) si ceux-ci sont non ou mal obturés, mais aussi au travers des terrains de recouvrement.

Les mécanismes pouvant conduire à ces migrations sont nombreux. Ils résultent le plus souvent du gradient de pression régnant entre les travaux souterrains et l'atmosphère extérieure.

Suivant la nature et la composition de ce gaz de mine, les émissions gazeuses en surface peuvent présenter plusieurs risques ou nuisances vis-à-vis des personnes et des biens. On retiendra notamment les risques d'asphyxie, d'intoxication ou d'irradiation et, enfin, le risque d'inflammation ou d'explosion. Ces risques sont accrus lorsque le gaz de mine se trouve être confiné, c'est-à-dire peu ou pas dilué. Ils sont, bien évidemment, moindres dans le cas d'une émission diffuse dans une atmosphère ouverte.

Le gaz de mine est généralement un mélange de gaz d'origines diverses, à des teneurs variables. Certains gaz ont une origine endogène⁵ (grisou, dioxyde de carbone, radon),

⁵ Endogène : contenu dans le gisement avant l'exploitation

d'autres une origine exogène⁶ (monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, sulfure d'hydrogène, par exemple).

Les principaux constituants du gaz de mine, mentionnés ci-dessus, ne présentent pas les mêmes niveaux de risque pour les personnes ou les biens situés en surface. Toutefois, les dangers de chacun des composants se combinent. Ainsi, une même teneur en gaz toxique sera plus dangereuse dans un mélange gazeux contenant d'autres gaz toxiques (ou encore un déficit en oxygène) que si elle y est seule.

Parmi les gaz susceptibles d'être rencontrés, on citera le méthane. C'est le principal constituant du grisou, gaz qui se rencontre essentiellement dans les exploitations de combustibles solides et, de manière moins importante, dans les mines de sel ou de potasse.

Dans les *mines de charbon ou de lignite*, le méthane représente généralement une partie très majoritaire du grisou (jusqu'à 95 %, voire plus).

Le grisou se trouve « piégé » dans le matériau exploité (charbon, lignite, schistes bitumineux...), sous forme adsorbée, et, de manière minoritaire, dans les pores des roches encaissantes, sous forme libre. Pendant l'exploitation et peu après celle-ci, du fait de la détente des terrains, il se dégage du charbon abattu et des terrains influencés. Néanmoins, des quantités notables de ce gaz restent contenues dans le gisement non exploité et les roches. Le dégagement gazeux, même s'il est lent, peut donc perdurer durant une longue période de temps, jusqu'à établissement d'un nouvel équilibre, différent pour chaque site, entre le grisou encore contenu dans les roches et le gaz libre existant dans les vides souterrains.

Le méthane est un gaz inodore, incolore et sans saveur. C'est un gaz non toxique et inoffensif sur le plan physiologique dans la mesure où sa présence n'engendre pas une diminution de la teneur en oxygène de l'atmosphère susceptible de présenter un danger d'asphyxie (voir plus loin). C'est essentiellement son inflammabilité (ou explosibilité) qui fait du méthane un gaz particulièrement dangereux.

Un mélange binaire d'air et de méthane est directement explosible lorsque la teneur en méthane est comprise entre 5 % (limite inférieure d'explosibilité) et 15 % (limite supérieure d'explosibilité). L'inflammation d'un tel mélange provoque des effets thermiques et mécaniques dangereux pour les personnes et dommageables pour les biens.

Les effets mécaniques d'une inflammation de méthane dépendent du volume de méthane disponible, de l'homogénéité du mélange et du degré de son confinement. On parlera ainsi, selon le cas, d'inflammation⁷ ou d'explosion⁸.

Notons qu'un mélange très (trop) riche en méthane (teneur supérieure à la limite supérieure d'explosibilité) s'avère également très dangereux, car il peut avoir un caractère asphyxiant (déficit d'oxygène) et sa dilution dans l'air peut le rendre directement inflammable.

⁶ Exogène : produit à partir d'une transformation chimique du gisement ou de certains éléments de la mine, pendant ou après l'exploitation

⁷ Flambée de grisou, en langage minier.

⁸ Coup de grisou, en langage minier.

Mécanismes ou scénarios initiateurs

Plusieurs mécanismes, agissant seuls ou simultanément, peuvent être à l'origine de la remontée potentielle de gaz de mine vers la surface. Hormis les mécanismes spécifiques de diffusion et de transport de gaz dissous dans l'eau, des migrations de gaz vers la surface sont principalement animées par les mécanismes qui contribuent à générer une différence de pression positive entre un réservoir minier souterrain et l'atmosphère extérieure.

En effet, si le gaz de mine présent dans les vides souterrains est en surpression relative, même minime, par rapport à l'atmosphère externe, il aura tendance à s'écouler vers la surface. Toutes choses égales par ailleurs, cet écoulement sera d'autant plus important que la différence de pression sera élevée.

Parmi les mécanismes à l'origine de la production et la migration de gaz vers la surface, on citera : Production de gaz au sein des vieux travaux, Le pistonnage par remontée de la nappe, Variations de la pression atmosphérique, Tirage naturel, La diffusion, Transport de gaz sous forme dissoute dans l'eau, Mécanismes exceptionnels tels que des travaux de terrassement ou le débouillage de remblais d'un puits...

Qualification de l'aléa

1. Définition de l'aléa

L'aléa correspond à la probabilité qu'un phénomène donné se produise sur un site donné, au cours d'une période de référence, en atteignant une intensité qualifiable ou quantifiable. La caractérisation d'un aléa repose donc classiquement sur le croisement de **l'intensité prévisible du phénomène** avec sa **probabilité d'occurrence**.

Dans une optique de prévention des risques et d'aménagement du territoire, telle que retenue dans le cadre de l'élaboration d'un PPRM, la période de référence pour identifier le niveau d'aléa est généralement le **long terme**. Il est ainsi nécessaire d'intégrer à l'analyse la dégradation inéluctable dans le temps des caractéristiques des matériaux rocheux ainsi que la propagation, dans l'espace, des fluides (eau ou gaz) soumis aux lois d'écoulement qui les caractérisent.

L'**intensité du phénomène** correspond à l'ampleur des désordres, séquelles ou nuisances susceptibles de résulter du phénomène redouté.

La notion de **probabilité d'occurrence** traduit pour sa part la sensibilité que présente un site à être affecté par l'un ou l'autre des phénomènes analysés. Elle s'appuie sur une classification qualitative caractérisant une **prédisposition** du site à subir tel ou tel type de désordres ou nuisances.

2. Qualification des classes d'aléa

L'aléa résulte du croisement d'une intensité avec la prédisposition correspondante. Le principe de qualification de l'aléa consiste donc à combiner les critères permettant de caractériser l'intensité d'un phénomène redouté avec les critères permettant de caractériser sa classe de prédisposition.

On utilise une matrice de synthèse dont les principes de constitution sont illustrés dans le tableau suivant, en précisant bien, une fois encore, que chaque site peut donner lieu à des ajustements pour s'adapter au contexte spécifique qui le caractérise.

On distingue classiquement trois classes d'aléa : faible, moyen, fort.

Prédisposition	Très peu sensible	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Intensité				
Très limitée				
Limitée				
Modérée				
Elevée				

3. L'aléa « effondrement localisé »

Qualification de l'intensité

C'est principalement le **diamètre de l'effondrement** qui influera sur les conséquences prévisibles sur la sécurité des personnes et des biens présents dans la zone d'influence du désordre. C'est donc ce paramètre que nous retiendrons comme grandeur représentative. Assez logiquement, c'est le diamètre maximal qui sera retenu dans l'évaluation (configuration stabilisée sous forme d'entonnoir). On gardera toutefois à l'esprit qu'en terme de dangerosité, c'est plutôt le diamètre instantané (zone affectée lors de l'effondrement), parfois sensiblement moins important que le précédent, qui compte.

La profondeur du cratère peut également influencer sur la dangerosité du phénomène mais, comme elle s'avère souvent très délicate à prévoir, notamment pour ce qui concerne les fontis et les débousses de puits, nous ne la retiendrons pas comme paramètre décisif.

Le phénomène d'effondrement localisé est de nature à porter atteinte à la sécurité des personnes et des biens présents en surface.

Parmi les principaux facteurs susceptibles d'influer sur la valeur du diamètre de l'effondrement, on citera la dimension des vides résiduels au sein des travaux souterrains (volume des galeries), ainsi que l'épaisseur et la nature des terrains constituant le recouvrement. Notons, à ce propos, que l'épaisseur et la nature des terrains de sub-surface jouent un rôle prépondérant car leur rupture (lorsqu'il s'agit de terrains déconsolidés) peut contribuer pour beaucoup aux dimensions de l'entonnoir d'effondrement en surface.

Les valeurs seuils présentées dans le tableau suivant sont fournies à titre purement indicatif. Elles pourront être adaptées au contexte par l'expert en charge de la réalisation de l'évaluation des aléas.

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement
Très limitée	Effondrements auto-remblayés à proximité immédiate de la surface (profondeur centimétrique)
Limitée	$\emptyset < 3 \text{ m}$
Modérée	$3 \text{ m} < \emptyset < 10 \text{ m}$
Elevée	$\emptyset > 10 \text{ m}$

Qualification de la prédisposition

Quel que soit le contexte d'exploitation, deux critères fondamentaux gouvernent la prédisposition d'un site au développement d'effondrements localisés :

- **l'existence d'indices d'anciens** mouvements de type « **effondrement localisé** » (encore visibles en surface ou décrits dans les archives), dans un secteur proche présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitations voisines, peut contribuer à augmenter la prédisposition au développement futur de phénomènes sensiblement similaires en terme de mécanismes initiateurs (fontis, effondrements de puits...) ;
- la **présence de terrains déconsolidés en surface**, notamment sur une grande épaisseur, contribue à augmenter la prédisposition à voir se développer des cratères d'effondrement de fortes dimensions (classes d'intensité élevées).

Rupture de toit ou éboulement d'une galerie d'accès

La prédisposition d'un site à voir se développer un fontis à l'aplomb d'anciennes exploitations dépend de la combinaison de deux prédispositions : la rupture de l'ouvrage souterrain et la remontée de l'instabilité jusqu'en surface.

Prédisposition à la rupture de l'ouvrage souterrain

La prédisposition à la rupture de l'ouvrage souterrain dépend essentiellement de :

- la largeur (ou portée) du toit des chambres ou des galeries concernées ;
- la nature et l'épaisseur des premiers bancs rocheux.

Prédisposition à la remontée de l'instabilité jusqu'en surface

Une fois la chute de toit initiée au sein des vieux travaux, deux mécanismes sont susceptibles de s'opposer à sa propagation vers la surface dans le long terme :

- *la stabilisation du phénomène par formation d'une voûte stable.* Vis-à-vis de ce mécanisme, c'est, à largeur de galerie égale, la présence de bancs massifs, épais et résistants au sein du recouvrement qui contribuera à diminuer la prédisposition d'un site à voir se développer des fontis en surface ;
- *la stabilisation du phénomène par auto-comblement,* du fait du foisonnement des éboulis. Le volume des vides résiduels disponibles au sein des vieux travaux (tenant compte de la dimension des galeries et de l'existence d'éventuels travaux de remblayage), ainsi que la nature (coefficient de foisonnement) et l'épaisseur des terrains de recouvrement, influenceront directement sur la prédisposition des remontées de voûte à se stabiliser ou non par auto-comblement.

Dans les faits, même si cette valeur dépend étroitement de la nature des terrains de recouvrement, le retour d'expérience disponible montre qu'au-delà d'une profondeur d'une cinquantaine de mètres, la prédisposition d'anciens travaux miniers aux remontées de fontis jusqu'en surface devient généralement négligeable pour des galeries de hauteur habituelle (< 4 m).

Rupture de piliers isolés

La prédisposition de piliers à la rupture dépendra principalement :

- des contraintes s'exerçant au sein des piliers (tributaires notamment du taux de défrètement local et de la profondeur des travaux) ;
- des caractéristiques des piliers concernés (résistance du pilier, sensibilité à l'eau, section, élancement, forme, régularité, présence de failles ou d'accidents structuraux, mauvaise superposition...).

Effondrement d'une tête de puits

Deux phénomènes peuvent résulter d'une instabilité affectant une ancienne tête de puits.

Le premier résulte de l'effondrement de la surface du sol situé à l'aplomb direct de l'ancien ouvrage. Deux raisons peuvent générer cette rupture :

- l'effondrement de la structure mise en place en tête d'un puits vide (plancher en bois, voûte en briques, dalle, bouchon...). Dans ce cas, ce sont les caractéristiques de cette structure (résistance, dimensions), son altérabilité dans le long terme, la nature du revêtement ou cuvelage du puits ainsi que la nature et la résistance des terrains encaissants qui influenceront directement sur la prédisposition du site à la rupture ;
- le débouillage d'un puits remblayé. Dans ce cas de figure, les variations prévisibles du niveau hydrogéologique (remontée des eaux, battements de nappe), la présence de galeries

connectées au puits et non obturées par des serrements, l'ancienneté du remblayage et l'existence de facteurs aggravants (vibrations, surcharges...) contribueront à augmenter la prédisposition du puits à subir un débouillage.

Le second phénomène résulte directement du premier, notamment lorsqu'il s'agit du débouillage d'un très vieux puits. Il concerne la rupture possible des terrains environnants la tête de puits qui s'écoulent dans le puits après l'effondrement de tout ou partie du revêtement de l'ouvrage. Concernant ce phénomène, l'ancienneté et l'état de dégradation du revêtement du puits ainsi que la présence et l'épaisseur de terrains sans cohésion en sub-surface constituent autant de facteurs favorables au développement d'un effondrement qui peut, parfois, déborder très largement de l'emprise stricte du puits.

4. L'aléa « tassement »

Qualification de l'intensité

Les éventuelles nuisances initiées par le phénomène de tassement résultent principalement du développement de **tassements différentiels**. En présence de tassements différentiels, c'est principalement l'amplitude verticale de ces mouvements qui conditionne l'intensité du phénomène prévisible. Puisqu'il s'avère généralement difficile de prévoir l'amplitude de ces tassements différentiels, on se réfère généralement à l'amplitude des tassements globaux prévisibles.

Ce type de désordre est de nature à engendrer des dégradations aux biens (bâti et infrastructures) présents en surface mais pas à mettre en danger les populations. Sauf exception, l'intensité des conséquences d'un phénomène de tassement demeure limitée (ordre centimétrique à décimétrique).

Classe d'intensité	Description
Très limitée	Tassements limités
Limitée	Tassements sensibles

Qualification de la prédisposition

Critères de prédisposition communs

Quel que soit le contexte d'exploitation, trois critères fondamentaux gouvernent la prédisposition d'un site au développement de tassements :

- **l'existence d'indices d'anciens** mouvements de type « **tassements** » (encore visibles en surface ou décrits dans les archives), dans un secteur proche présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation voisines, peut contribuer à augmenter la prédisposition au développement futur de ce type de phénomènes ;
- la **modification** lente (remontée de nappe) ou plus rapide (rupture de canalisation, obturation de drains...) **des conditions hydrauliques** (eaux de surface et souterrains) est souvent à l'origine du déclenchement de phénomènes de tassements ;
- l'application de fortes **surcharges en surface** dans le cadre d'un aménagement du site (constructions, entreposage...).

Ouvrages de dépôt et découvertes exploitées par auto-remblayage

Parmi les principaux facteurs de prédisposition, on citera :

- l'épaisseur du dépôt ;
- la nature et la granulométrie des matériaux déposés ;
- la méthode de mise en place du dépôt (avec ou sans compactage).

5. L'aléa « glissement ou mouvement de pente »

Qualification de l'intensité

C'est principalement le **volume de matériau mis en mouvement** qui influera sur l'intensité du phénomène. La définition des classes d'intensité s'appuiera principalement sur la notion d'effets prévisibles sur les biens même si, dans certaines circonstances défavorables, les désordres infligés aux bâtiments sont de nature à mettre en péril la sécurité des personnes qui y résident.

Parmi les principaux facteurs susceptibles de jouer sur le volume de matériau mis en mouvement, on citera : la nature et la granulométrie des matériaux constituant le talus, la hauteur et la morphologie de la pente, l'intensité des ruissellements prévisibles, l'existence ou non de mesures d'aménagement (géotextiles, engazonnement...).

Les valeurs seuils présentées dans le tableau suivant sont fournies à titre purement indicatif. Elles pourront être adaptées au contexte par l'expert en charge de la réalisation de l'évaluation des aléas.

Classe d'intensité	Description	Volume mis en jeu
Très limitée	Reptations, ravinements	quelques m ³
Limitée	Glissements superficiels, ravinements importants	De 10 à 100 m ³
Modérée	Glissements profonds	100 à 5 000 m ³
Elevée	Glissements majeurs	> 5 000 m ³

Qualification de la prédisposition

Les facteurs qui contribuent à augmenter la prédisposition d'un talus à subir des glissements ou mouvements de pente superficiels sont, pour la plupart, communs à l'ensemble des talus concernés par l'après-mine (digues, terrils, fosses non remblayées creusées en terrain tendre...). Parmi les principaux, on citera, sans souci de hiérarchisation :

- **l'existence d'indices d'anciens** mouvements de type « **mouvement de pente** » (encore visibles en surface ou décrits dans les archives), dans un secteur proche présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation voisines, peut contribuer à augmenter la prédisposition au développement futur de ce type de phénomènes ;
- une mauvaise **gestion des eaux de surface**. Ceci peut résulter de l'absence de mesures adéquates ou de la dégradation du dispositif de drainage préexistant (rupture de canalisation, drains bouchés, canaux de ruissellement remplis par des éboulis...). Les talus situés dans des régions sujettes à des précipitations violentes (orages méditerranéens par exemple), seront plus prédisposés à subir des mouvements défavorables ;
- la **topographie et morphologie des flancs** : présence de banquettes, pente moyenne du flanc ;

- la **nature des matériaux** constituant le talus : nature et granulométrie des matériaux, existence de discontinuités stratigraphiques ou tectoniques. La présence de matériaux contenant une proportion importante de particules fines augmentera par exemple la prédisposition du site à être affecté par des phénomènes d'érosion et de ravinement ;
- la présence de **signes traduisant l'activité des mouvements** déjà initiés (fissures de décompression, bourrelets en pied, arbres penchés...) ;
- la présence **d'anciens travaux miniers** souterrains au droit du talus susceptible de se rompre et d'engendrer la déstabilisation du flanc de fosse ou des terrains d'assise supportant l'ouvrage de dépôt ;
- l'éventuelle **modification des conditions hydrauliques** locales (affaiblissement de la butée de pied en cas de crues sévères, altération du dispositif de drainage ou d'aménagement des écoulements, création de bassins de décantation...) ;
- l'existence de **réaménagements** ou de **parades**, dans la mesure où ces dernières présentent des garanties satisfaisantes de pérennité et d'entretien ;

l'existence de **facteurs aggravants** tels que l'absence de végétalisation adaptée en surface, l'existence possible de sollicitations dynamiques (séismes, vibrations...), le développement de certaines activités humaines (VTT, moto-cross, surcharge en bord de crête...) ou la présence d'animaux fouisseurs sont également susceptibles de contribuer à la déstabilisation des flancs de talus.

6. Aléa émission de gaz de mine

Qualification de l'intensité du phénomène de l'aléa émission en surface de gaz de mine

Le phénomène redouté correspond à une remontée en surface d'un gaz de mine susceptible de présenter des dangers, principalement pour les personnes et, plus exceptionnellement, pour les biens. Il s'agit des dangers d'inflammation ou d'explosion, d'asphyxie, d'intoxication et d'irradiation.

Des dangers vis-à-vis des biens ou infrastructures n'existent que lorsque le gaz de mine est inflammable. En effet, seules l'explosion ou l'inflammation peuvent entraîner des dégâts matériels, les personnes étant également exposées dans un tel scénario. Pour simplifier la réflexion, nous considérerons, dans ce qui suit, que l'intensité du phénomène ne se traduit qu'en terme de dangerosité sur les personnes.

Les grandeurs les plus caractéristiques permettant de décrire l'intensité du phénomène redouté sont les suivantes :

- la composition du gaz de mine. Parmi les composants gazeux redoutés, seuls quelques gaz sont inflammables ou toxiques et, parmi les gaz toxiques, tous n'ont pas le même niveau de toxicité. C'est donc par la connaissance de la composition constatée ou prévisible du gaz de mine que l'on peut en déterminer les dangers et leur intensité ;
- l'importance du flux gazeux et sa répartition à la surface du sol. Les conséquences du phénomène seront d'autant plus intenses que le flux de gaz pouvant émaner en surface sera important. La valeur du flux dépend directement de la différence de pression entre l'atmosphère des travaux et l'air libre. De même, un dégagement gazeux concentré localement aura, à débit égal, des conséquences plus importantes que s'il était réparti sur une vaste surface, situation qui contribue à faciliter sa dilution dans l'air atmosphérique.

L'échelle d'intensité proposée ci-dessous devra être prise en considération à titre indicatif : il s'agit de valeurs guides pour l'évaluation de l'aléa plus que des références absolues.

Classe d'intensité	Emission de gaz de mine
Très limitée à limitée	Emission contenant : <ul style="list-style-type: none"> • soit des gaz inflammables, à des teneurs inférieures à la LIE⁹ • soit des gaz asphyxiants, toxiques ou ionisants, à des teneurs supérieures à la TMR¹⁰ mais ne pouvant pas entraîner qu'un impact faible et réversible¹¹ • soit du radon, à des teneurs supérieures à 1000 Bq/m³ mais inférieures à 10 000 Bq/m³¹²
Moyen	Emission limitée contenant des gaz : <ul style="list-style-type: none"> • soit directement inflammables ou pouvant le devenir par dilution dans l'air • soit asphyxiants ou toxiques à des teneurs pouvant entraîner un impact significatif Emission de radon à des teneurs supérieures à 10 000 Bq/m ³
Elevée	Emission importante contenant des gaz : <ul style="list-style-type: none"> • soit directement inflammables ou pouvant le devenir par dilution dans l'air • soit asphyxiants ou toxiques à des teneurs pouvant entraîner un impact significatif
Très élevée	Emission importante contenant des gaz asphyxiants ou toxiques à des teneurs élevées pouvant entraîner directement un impact létal

Prédisposition

Plusieurs facteurs essentiels gouvernent la prédisposition d'un site minier à être siège d'émanations de gaz de mine. Les premiers, qui concernent la production du gaz de mine, auront trait au réservoir constitué par les vides miniers et à son alimentation. Les seconds concernent la propension qu'aura le gaz présent dans les vides miniers à remonter jusqu'en surface.

Prédisposition du réservoir à émettre du gaz de mine

Les deux éléments déterminant la prédisposition du réservoir et des terrains encaissant à émettre du gaz de mine sont la nature du mécanisme à l'origine de la présence de gaz au sein des vides miniers et le volume de ces vides :

- Mécanisme à l'origine de la présence de gaz : Un réservoir réalimenté en continu en gaz dangereux sera plus susceptible d'émettre du gaz en surface qu'un réservoir dans lequel la

⁹ LIE : Limite Inférieur d'Explosibilité (voir annexe F).

¹⁰ TMR : Teneur Maximale autorisée par la Réglementation en vigueur (voir annexe F).

¹¹ Voir annexe F.

¹² Voir annexe F.

production de gaz a désormais cessé. De ce fait, à titre d'exemple, une ancienne mine exploitée dans un gisement franchement grisouteux sera *a priori* plus prédisposée à émettre du gaz qu'une exploitation située dans un gisement faiblement grisouteux. La prédisposition à une remontée de gaz en surface intégrera donc la nature du matériau extrait et celle des terrains encaissants, la présence constatée ou non de gaz au sein du gisement durant les travaux d'extraction ainsi que l'occurrence d'accidents liés au gaz pendant ou même après l'exploitation. La prédisposition du matériau exploité et des terrains encaissants à subir des transformations chimiques conduisant à une production de gaz devra également être prise en considération. On citera, par exemple, le risque de feu ou d'échauffement de matériaux combustibles ou encore l'attaque de carbonates par de l'eau acide.

- Volume des vides miniers : Quelle que soit l'origine du gaz de mine, la quantité de gaz susceptible de s'accumuler et de migrer vers la surface est directement liée au volume disponible au sein du réservoir minier. L'évaluation du volume non ennoyé du réservoir souterrain, de sa répartition dans l'espace et de son évolution dans le temps (effet de l'ennoyage) influera également directement sur la prédisposition du phénomène redouté.

Prédisposition à la remontée de gaz de mine jusqu'en surface

Les principaux facteurs susceptibles de faciliter ou, au contraire, de s'opposer à la remontée de gaz jusqu'en surface sont principalement de trois ordres : la différence de pression entre le réservoir souterrain et l'air libre, l'épaisseur et la perméabilité des terrains de recouvrement ainsi que l'existence d'éventuels « drains préférentiels » :

- Différentiel de pression : Plus la différence de pression (positive) entre les anciens travaux et l'atmosphère en surface sera importante, plus la prédisposition du site à être le siège d'émanations de gaz en surface sera jugée sensible. On notera qu'il n'est pas nécessaire que cette surpression relative s'établisse de manière permanente, l'émission, même transitoire, de gaz de mine peut, en effet, suffire à engendrer des situations dangereuses pour les personnes et les biens exposés. A titre d'exemple, toute choses égales par ailleurs, la prédisposition d'une exploitation au cours de l'ennoyage à développer des remontées de gaz en surface sera plus importante que celle d'une exploitation où le niveau d'eau est déjà stabilisé (effet de pistonage par remontée de la nappe).
- Épaisseur et perméabilité des terrains de recouvrement : La prédisposition d'un gaz à migrer vers la surface au travers des terrains de recouvrement dépend de deux principaux facteurs : leur épaisseur et leur perméabilité au gaz. Ces deux facteurs, très variables d'une exploitation à une autre, peuvent être considérés ensemble ou séparément :
 - l'importance de la profondeur aura, tout naturellement, un effet réducteur sur la prédisposition à la remontée de gaz. Ainsi, sauf configurations exceptionnelles (par exemple, la présence des failles traversantes et ouvertes), on considère généralement qu'au-delà d'une épaisseur de recouvrement de 200 mètres, la probabilité que du gaz puisse remonter en quantité significative jusqu'en surface devient nulle à négligeable ;
 - la perméabilité des terrains dépendra de nombreux paramètres : perméabilité naturelle des bancs de roches et couches de sol, présence ou non de nappes aquifères dans le recouvrement, épaisseur et continuité de ces nappes, degré de déstructuration du recouvrement résultant de l'exploitation, paramètre directement relié à la méthode d'exploitation. Une forte perméabilité des terrains de recouvrement contribuera à augmenter la prédisposition à la remontée de gaz jusqu'en surface.

- Existence de « drains préférentiels » : Les ouvrages de communication entre les vieux travaux et la surface (puits, descenderies, fendues, galeries d'accès...) sont susceptibles, lorsqu'ils n'ont pas été obturés de manière suffisamment étanche, de constituer des vecteurs privilégiés pour la remontée du gaz vers la surface. Ainsi, en fonction de la nature du traitement mis en œuvre, la présence d'un ouvrage de type puits ou galerie pourra contribuer à augmenter, de manière plus ou moins sensible, la prédisposition à l'émanation de gaz de mine en surface. Ceci est vrai au droit de l'ouvrage mais également dans les terrains environnants, en raison des incertitudes de localisation des anciens travaux, de la migration possible dans d'anciennes galeries de sub-surface, de l'étendue des terrains déconsolidés... Dans le même ordre d'idée, on attachera une attention particulière aux failles naturelles ou aux fractures majeures provoquées par l'exploitation. Ces discontinuités, lorsqu'elles sont franches et ouvertes, peuvent en effet également constituer des points privilégiés vis-à-vis des écoulements gazeux vers la surface.

Annexe 4

Carte informative de la concession de Fiennes au 1 / 5 000

Annexe 5

**Cartes des aléas mouvement de terrain de la concession
de Fiennes au 1 / 5 000
Ouvrages débouchant au jour et travaux souterrains**

Annexe 6

**Cartes des aléas mouvement de terrain de la concession
de Fiennes au 1 / 5 000
Ouvrages de dépôts**

