

ANNEXE B

*Rapport de phase d'aléas
INERIS DRS-06-77686/R02
(hors texte)*

RAPPORT D'ÉTUDE
DRS-06-77686/R02

22/12/2006

Bassin de lignite du Minervois (Aude)

**Concessions de Bize, Mailhac et Pouzols -
Sainte-Valière et permis d'exploitation de la
Roueyre**

**Contribution à la réalisation d'un Plan de
Prévention des Risques Miniers**

Phase d'évaluation des aléas

**Bassin de lignite du Minervois (Aude)
Concessions de Bize, Mailhac et Pouzols - Sainte-Valière
et permis d'exploitation de la Roueyre**

**Contribution à la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques
Miniers**

Phase d'évaluation des aléas

Direction des Risques du Sol et du Sous-sol

GEODERIS

Personne ayant participé à l'étude :

G. GOUILLON, technicien supérieur à la Direction des Risques du Sol et du sous-sol.

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire 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 destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	C. LAMBERT	X. DAUPLEY	M. GHOREYCHI
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	Directeur des Risques du Sol et du Sous-Sol
Visa			

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	5
2. RAPPELS SUR LA PHASE INFORMATIVE.....	7
2.1 Contextes géographique et géologique du bassin du Minervois	7
2.2 Situation hydrogéologique actuelle	8
2.3 Historique des travaux miniers	8
2.4 Exploitations.....	9
2.5 Gaz et feux de mine	12
2.6 Environnement	12
2.7 Cartographie	14
3. DEFINITION, EVALUATION DE L'ALÉA « ECHAUFFEMENT »	17
3.1 Echauffement sur le bassin du Minervois.....	17
3.2 Evaluation du niveau de l'aléa.....	17
4. DEFINITION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA « MOUVEMENTS DE TERRAIN »	19
4.1 Aléa effondrement généralisé	19
4.2 Aléa effondrement localisé.....	19
4.2.1 Zone d'altération superficielle	20
4.2.2 Effondrement localisé lié aux galeries et descenderies isolées	20
4.2.2.1 Fontis recensés sur les titres miniers du bassin du Minervois de l'Aude	20
4.2.2.2 Evaluation de l'aléa effondrement localisé lié à la présence de galeries isolées.....	20
4.2.3 Effondrement localisé lié aux zones d'exploitation	22
4.2.4 Effondrement localisé lié aux puits	24
4.2.5 Effondrement localisé à proximité d'affleurements et des zones de grattages.....	26
4.2.6 Carte de l'aléa effondrement localisé.....	26
4.2.6.1 Fontis à l'aplomb d'une galerie.....	27
4.2.6.2 Fontis à l'aplomb de travaux d'exploitation.....	28
4.2.6.3 Effondrement de la tête de puits	28
4.2.6.4 Fontis à l'aplomb de zones de grattage ou à proximité d'affleurement	28
4.3 Aléa affaissement.....	29
4.3.1 Description du phénomène en surface	29
4.3.2 Affaissement au-dessus de travaux souterrains pentés à moins de 50 m de profondeur	29
4.3.3 Cartographie de l'aléa affaissement	30

4.4	Aléa tassement	31
4.4.1	Tassements à l’aplomb de galeries	31
4.4.1.1	Tassements au-dessus de galeries.....	31
4.4.1.2	Evaluation de l’aléa tassement.....	31
4.4.1.3	Cartographie de l’aléa tassement.....	32
4.4.2	Tassements au-dessus de travaux souterrains non pentés à moins de 50 m de profondeur	33
4.4.2.1	Evaluation de l’aléa tassement.....	33
4.4.2.2	Cartographie de l’aléa tassement.....	34
4.4.3	Tassements de matériaux constitutifs des terrils	34
4.4.3.1	Mécanisme	34
4.4.3.2	Evaluation et cartographie de l’aléa tassement au droit de terrils et zones de remblais miniers.....	34
4.4.4	Tassements de la tête des puits ou d’anciens fontis remblayés	35
4.4.4.1	Mécanisme	35
4.4.4.2	Evaluation et cartographie de l’aléa tassement.....	35
4.4.4.3	Cartographie de l’aléa tassement.....	36
4.4.5	Carte de l’aléa tassement.....	36
5.	DÉFINITION, ÉVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L’ALÉA EMISSION DE GAZ DE MINE.....	37
5.1	Intensité de l’aléa	37
5.2	Prédisposition du site à la migration de gaz.....	37
5.2.1	Etat de l’ennoyage et présence des vides non ennoyés.....	37
5.2.2	Migration de gaz à travers les roches de couverture	38
5.2.3	Migration de gaz à travers les liaisons fond-surface	38
5.3	Evaluation du niveau de l’aléa.....	39
5.4	Limite de zonage.....	39
6.	DÉFINITION, ÉVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS POLLUTION DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES	41
6.1	Aléa pollution des eaux superficielles	41
6.2	Aléa pollution des eaux souterraines	42
7.	CONCLUSION.....	43
8.	BIBLIOGRAPHIE.....	45
9.	LISTE DES ANNEXE ET CARTES	47

1. INTRODUCTION

Le bassin du Minervoais est situé à cheval entre les départements de l'Aude et de l'Hérault et comporte des gisements de lignite qui ont été exploités jusqu'au XX^{ème} siècle. Pour des raisons administratives, deux démarches de type PPRM ont été lancées parallèlement sur chacun des départements. Le présent document concerne les quatre titres miniers accordés dans le département de l'Aude : les concessions de Bize, Mailhac, Pouzols et Sainte-Valière et le PEX de la Roueyre.

Tous ces titres présentent globalement des travaux souterrains peu profonds, épars, et peu étendus du fait de la mauvaise qualité du lignite.

En vue de la réalisation d'un futur Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM), GEODERIS a sollicité l'INERIS afin de réaliser les phases informative et d'analyse de l'aléa sur ces 4 titres.

Le périmètre retenu pour les études techniques préliminaires dans le département de l'Aude est celui des concessions minières de Bize, Mailhac et Pouzols Sainte-Valière et du PEX de la Roueyre.

La phase informative a permis de définir la nature des aléas à prendre en compte dans le PPRM. Il s'agit de l'aléa "mouvements de terrain", de l'aléa "émission de gaz de mine" et des aléas « pollution des eaux superficielles et souterraines ». On traitera aussi l'aléa « échauffement » sur les terrils.

L'ensemble des informations existantes pour l'analyse de ces aléas a été synthétisé dans le rapport de la phase informative réalisée par l'INERIS en 2006 (rapport référencé INERIS DRS-06-77686/R01 du 23 novembre 2006 [1]). Il contient notamment 3 cartes informatives respectivement au 1/5000, au 1/10000 et au 1/2000.

Le présent rapport a pour but d'évaluer les aléas définis dans la phase informative. Les deux principales étapes de la démarche ont consisté à procéder :

- à un découpage des travaux en zones homogènes, établi d'après les plans d'exploitation et l'analyse des configurations géologiques ou géomorphologiques ;
- à la détermination des phénomènes attendus en surface, fondée sur les configurations identifiées et les désordres déjà observés ou prévisibles et à la prévision de leur occurrence potentielle.

Cette analyse a eu pour objectif de réaliser :

- une évaluation de l'aléa par type de phénomène (ou désordre) attendu, compte tenu de leur intensité et de la prédisposition des sites considérés ;
- une cartographie des aléas « mouvements de terrain », « gaz de mine » et « environnement » au 1/10 000 (Cartes 1 à 4 retranscrites en format informatique sur un CD ROM joint au rapport final).

On se reportera à l'annexe 1, pour les généralités relatives à la description des phénomènes ainsi qu'à la méthode d'évaluation de l'aléa associé (hors aléas environnementaux), issue du guide méthodologique relatif à l'élaboration des PPRM [3].

La cartographie réglementaire et le règlement du PPRM seront à définir ultérieurement dans un autre cadre.

2. RAPPELS SUR LA PHASE INFORMATIVE

2.1 CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU BASSIN DU MINERVOIS

Le bassin du Minervois, d'une longueur de 30 km, à cheval sur les départements de l'Aude et de l'Hérault est recouvert de steppes, garrigues ainsi que quelques vignobles et autres vergers dans les parties basses des vallées.

Du point de vue lithostratigraphique, les quatre principales formations présentes dans le bassin du Minervois sont (de la plus récente à la plus ancienne) :

- la formation d'Aigne (Barthonien supérieur) : il s'agit d'une alternance de bancs microconglomératiques ou gréseux. Son épaisseur peut atteindre 700 m, elle affleure sur la majeure partie du bassin. A priori, aucune exploitation de lignite n'a eu lieu dans cette formation ;
- les calcaires lacustres et marnes d'Agel (Lutétien), de couleur blanche à grise, formant des bancs métriques avec des passées ligniteuses et gréseuses. Son épaisseur maximum est de 120 m. Cette formation n'a été reconnue qu'au nord, sur la bordure de la Montagne Noire et à l'est du bassin du Minervois. Plusieurs exploitations de lignite y ont été menées, notamment entre Mailhac et Bize ;
- la formation d'Assignan (Cuisien) : il s'agit de dépôts fluviaux formant des grès et des microconglomérats à passées argileuses. Son épaisseur est d'environ 80 m. Cette formation n'a été reconnue qu'au nord, sur la bordure de la Montagne Noire et à l'est du bassin du Minervois. Quelques exploitations de lignite s'y sont déroulées au sud de Bize ;
- les calcaires lacustres de Ventenac (Cuisien) : ils forment des bancs décimétriques à métriques, blancs ou gris, avec des intercalations marneuses et des passées ligniteuses. Son épaisseur varie de 20 à 100 m. On la retrouve principalement au nord du bassin, en bordure de la Montagne Noire, au sommet de la Serre d'Oupia et au sud-est de Bize. Il s'agit, a priori, de la formation exploitée à la Caunette.

Les affleurements des couches de lignite exploitées, reportées sur les cartes informatives, résultent soit de plans d'archives, soit d'interprétations (en fonction du pendage des couches et des exploitations connues). Seuls les affleurements des sites de Saint-Jean de Caps (Concessions de Mailhac, Pouzols Sainte-Valière), de Belvèze et des Charbonnières ont été retrouvés lors de la campagne de terrain.

Le bassin du Minervois est séparé en 2 parties inégales par l'anticlinal (déversé vers le nord-ouest) de la Serre d'Oupia. A l'ouest, le synclinal d'Aigne s'étend jusqu'aux plaines de Carcassonne. A l'est, on trouve le synclinal de Bize, plus petit.

2.2 SITUATION HYDROGEOLOGIQUE ACTUELLE

Le secteur d'étude se situe à l'aplomb de l'aquifère karstique lié au synclinal éocène de Pouzols, qui est en liaison étroite avec la Cesse. Sur le haut du cours de la Cesse, l'essentiel de l'impluvium du bassin versant s'infiltré et la rivière ne présente pas d'écoulement aérien. Plus en aval, par contre, à partir des sources du Bouldou, la Cesse est peu à peu réalimentée par le drainage du karst. Cet aquifère a fait l'objet d'une étude complète en 1999/2000 par le Conseil Général de l'Aude [2]. On retiendra que le réservoir karstique bénéficie d'un apport annuel de l'ordre de 30 millions de mètres cubes qui réalimente la Cesse à hauteur de 1 m³/s. Il s'agit donc d'un aquifère significatif dont le point de débordement aval est constitué par la faille de Sainte-Valière.

On note que les travaux de certains titres miniers ont été rapidement envoyés après l'arrêt des exploitations.

La cote de la nappe a été estimée à partir des quelques informations dont nous disposons. Dans une approche sécuritaire, nous considérerons toujours le niveau le plus bas de la nappe estimée (Tableau 3).

Pour certains titres miniers, les données ne sont, cependant, pas suffisantes pour affirmer l'envoyage total des travaux. Une partie des travaux reste hors d'eau ou est partiellement envoyée. Par conséquent, il subsiste encore des vides post-miniers superficiels non envoyés. Ces vides résiduels sont susceptibles de contenir du gaz de mine. Selon les informations disponibles, ce gaz de mine peut éventuellement avoir une composition qui entraînerait des risques d'asphyxie ou d'intoxication en cas de pénétration dans un ouvrage minier (galerie, puits) ou en cas d'émanations localisées ou en milieux clos. Il ne présente a priori pas de risque d'inflammation.

2.3 HISTORIQUE DES TRAVAUX MINIERES

Les concessions de Pouzols et Sainte-Valière, Mailhac et Bize ont été instituées entre 1810 et 1830. Le permis d'exploitation (PEX) de la Roueyre fut sollicité en 1944 (Tableau 1).

Les premiers travaux remontent au début du XIX^{ème} siècle. Il s'agissait de grattages aux affleurements de lignite. Les travaux ont continué jusqu'au XX^{ème} siècle de manière discontinue et sur de nombreux sites. La méthode d'exploitation est restée la même sur toute la période d'activité, il s'agissait de chantiers par tailles, remblayés à l'aide des stériles des couches ligniteuses. De 1940 à 1945, les exploitations atteignent leur apogée mais la faible expansion des gisements, leur mauvaise qualité et la concurrence du charbon venant d'autres régions ou de l'étranger condamnent toutes les exploitations à fermer.

Outre les travaux reportés sur les anciens plans, nous avons également émis l'hypothèse de la présence de travaux (grattage, galeries de recherche) dans les zones d'affleurement de lignite et dans les zones présentant des indices connus d'exploitation (entrées de galerie, puits, indice sur la carte géologique...).

La puissance des couches exploitées variait entre 0,2 m et 0,6 m la plupart du temps, certaines ont atteint 2 à 4 m (la Roueyre). Le lignite était généralement de mauvaise qualité, pyriteux, cendreux, avec une présence de nerfs schisteux, le tout donnait un faible pouvoir calorifique.

Lors des procédures de renoncations des titres miniers, des travaux de mise en sécurité des ouvrages ont été effectués. Lors de nos visites de terrain de 2006, plusieurs puits en pierres sèches et trois entrées de galerie (ouvertes ou partiellement remblayées) ont, cependant, été retrouvés.

Tableau 1 : Caractéristiques des titres miniers lignitifères étudiés

Concession ou PEX	Communes concernées	Superficie (ha)	Date d'institution	Date d'arrêt des travaux	Dernier exploitant	Production (tonnes)	Date de renonciation
Bize	Bize-Minervois, Argeliers	1526	2/12/1814	1948	Union Economique Continentale	~ 30 000	25/03/1963
Pouzols Sainte-Valière	Pouzols-Minervois, Mailhac, Sainte-Valière, Paraza, Ventenac-en-Minervois	2594	16/06/1830 réunie avec la concession de Mailhac le 17/07/1924	1952	Société des Mines de Mailhac, Pouzols et Sainte-Valière	~ 150 000	1960
Mailhac	Mailhac	561	30/04/1828 réunie avec la concession de Pouzols Sainte-Valière le 17/07/1924				
Roueyre	Bize-Minervois, Villespassans, Assignan, Saint-Jean-de-Minervois	1833	1941	1948	Union Economique Continentale	~ 20 000	abandonnée en 1948

2.4 EXPLOITATIONS

Les principales caractéristiques des exploitations sur les concessions et PEX étudiés sont présentées synthétiquement dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques des exploitations étudiées

Concession ou PEX	Site d'exploitation	Pendage	Couches exploitées	Tonnages extraits	Profondeur des travaux	Méthodes d'exploitation	Géométrie des galeries	Géométrie des chantiers
Bize	Nord de Bize Roumingous/ Prat Long	32°	Formation d'Agel	7711 t	Prat Long : 12 m Roumingous : 20 m	Galeries et tailles chassantes remblayées	L = 1 à 1,8 m H = 1 à 1,4 m	R = 48 m L = 10 à 12 m H = 1 à 1,5 m
	Nord de Bize Maurel	20 à 30°	Formation d'Agel 4 couches		5 à 40 m	Galeries et tailles chassantes Superposition de 2 couches exploitées	L = 1 à 1,8 m H = 1 à 1,4 m	longueur = 10 m H = 1 à 1,5 m
	Nord de Bize Mairie	30°	Formation d'Agel 3 couches		0 à 20 m	Galeries et tailles chassantes remblayées Travaux non superposés	L = 1 à 1,8 m H = 1 à 1,4 m	longueur = 10 m H = 1 à 1,5 m
	Nord de Bize	20 à 50°	Formation d'Agel			Grattages aux affleurements (galeries et petites tailles latérales)	?	?
	Route d'Agel	17°	Formation d'Assignan 5 couches	Environ 1000 t	5 à 45 m	Galeries isolées partiellement remblayées Travaux non superposés	L = 2 m	H = 1 à 2,5 m
	Landure	50°	Formation d'Agel plusieurs couches	12113 t	5 à 20 m	Galeries et tailles chassantes remblayées 1 couche exploitée principalement Travaux non superposés	L = 2 m H = 2 m	
	Belvèze	7 à 9°	Formation d'Assignan 5 couches		5 à 20 m	Galeries et tailles chassantes et descendantes remblayées 1 couche exploitée principalement Travaux non superposés	L = 2 m H = 2 m	H = 1 à 1,5 m
	Tuileries	45°	Formation d'Agel 5 couches		0 à 25 m	Galeries et tailles (surtout en couche 3) Travaux non superposés	L = 2 m	H = 2 m
	Cabezac-Charbonnières	7 à 9°	Formation d'Assignan 4 couches	Environ 4000 t	5 à 25 m	Galeries et tailles remblayées Travaux superposés sur au moins 3 niveaux	L = 1 à 2 m H = 1 à 2 m	L = 20 à 30 m H = 1 à 2,5 m
	Cabezac-Cabane	15 à 25°				Galeries et tailles remblayées Travaux superposés sur au moins 3 niveaux		L = 20 à 30 m H = 1 à 2,5 m
	Cabezac-la Sellette	15 à 25°				Galeries et tailles remblayées Travaux non superposés		L = 20 à 30 m H = 1 à 2,5 m
	Cabezac-Camman	15 à 25°				Chambres et piliers ($\tau \approx 65\%$) puis reprise des piliers (~exploitations totales remblayées) Travaux non superposés	L = 3 m H = ?	

Concession ou PEX	Site d'exploitation	Pendage	Couches exploitées	Tonnages extraits	Profondeur des travaux	Méthodes d'exploitation	Géométrie des galeries	Géométrie des chantiers
Mailhac Pouzols Sainte-Valière	Mailhac Quartier 1	7 à 9°	Formation d'Agel couche 2	Plus de 10 000 t	0 à 30 m	Tailles remblayées à partir des affleurements Piliers résiduels de part et d'autre des galeries principales	L = 2 m	H = 1 m
	Mailhac Quartier 2	7 à 9°	Formation d'Agel couches 2 et 3	Environ 135 000 t	9 à 30 m	Tailles montantes (chambres réservoir ?) Travaux non superposés	L = 2 à 3 m	H = 1 (couche 2) à 2 m (couche 3)
	Saint-Jean de Caps	30 à 35°	Formation d'Agel plusieurs couches	?	0 à 70 m	Tailles remblayées Travaux non superposés	L = 1,3 m H = 1,2 à 3 m	H = 0,8 à 1 m
	Nord cimetière	7 à 9°	Formation d'Agel 1 couche	?	Faible	Grattages aux affleurements (galeries)	L = 1 à 1,5 m	?
	Sud Mailhac	30 à 35°	Formation d'Assignan	?	Faible	Grattages sur deux affleurements et puits	?	?
	Flanc est de la Serre d'Oupia	30 à 35°	Formation d'Assignan	?	Faible	Grattages aux affleurements	?	?
La Roueyre	La Roueyre	faible	Formation d'Assignan 1 couche	Environ 20 000 t	5 à 15 m	Tailles descendantes à partir de galerie au toit de la couche	L = 2 m	H = 1,5 à 4 m

L = largeur (m)

H = hauteur (m)

R = relevée (m)

H = hauteur (m)

τ = taux de défrètement de l'exploitation

2.5 GAZ ET FEUX DE MINE

Seul un incident lié aux échauffements a été retrouvé lors de la consultation des archives. Il s'agit d'un incendie ayant pris dans la mine de la Sellette. Il est aussi fait référence à une émanation de CO₂ dans la galerie de la mine de la Route d'Agel (PV de 1930). Il est également noté que les déblais ligniteux exposés à l'humidité et au soleil se décomposaient et s'autoenflammaient.

Le gisement de lignite du bassin du Minervois n'est pas reconnu comme grisouteux.

Aucun indice de dégagement gazeux n'a été noté au droit des orifices miniers (puits et entrée de galeries) lors des enquêtes récentes sur le terrain.

En se basant sur l'expertise de l'INERIS et sur l'absence de désordre en surface, aucun aléa lié au feu souterrain (pouvant entraîner la formation de cavités souterraines par combustion) n'est suspecté à l'aplomb de l'exploitation.

2.6 ENVIRONNEMENT

La nature du matériau exploité (lignite) ne s'accompagne pas, a priori, d'impacts majeurs sur l'environnement. Le principal impact potentiel pourrait être dû à une minéralisation élevée de l'eau issue des travaux, avec comme traceur typique, les sulfates. On notera que les eaux peuvent également être chargées en fer et en manganèse, mais elles présentent rarement des anomalies significatives en métaux. A proximité de la zone étudiée, des forages de caractérisation de l'aquifère dans la formation de lignite ont montré des minéralisations élevées liées à la présence de sulfates.

La campagne de mesure (conductivité, température, analyses chimiques) au droit de points d'eau proches des travaux miniers étudiés n'a pas mis en évidence d'impact significatif lié aux eaux d'exhaure des anciennes mines.

Lors de la visite réalisée le 4 septembre 2006, tous les cours d'eau secondaires, affluents de la Cesse, étaient à sec.

Tableau 3 : Cotes des travaux et du niveau supposé de la nappe dans les titres miniers étudiés

Concession ou PEX	Site d'exploitation	Cotes des travaux (m NGF) ¹	Cote supposée de la nappe (m NGF) ²	Cotes surface (m NGF) ³	Niveau d'eau dans les travaux ⁴
Bize	Nord de Bize Roumingous/ Prats Long	?	52 à 55	75 à 110	travaux non noyés
	Nord de Bize Maurel	65 à 85	52 à 55	95 à 105	travaux non noyés
	Nord de Bize Mairie	75 à 90	52 à 55	90 à 115	travaux non noyés
	Nord de Bize	?	52 à 55		travaux non noyés
	Route d'Agel	44 à 53	53 à 55	65 à 105	travaux ennoyés
	Landure	80 à 95	?	95 à 105	travaux partiellement noyés
	Belvèze	48 à 65	40 à 42	60 à 75	travaux non noyés
	Tuileries	90 à 120	?	95 à 120	travaux non noyés
	Cabezac-Charbonnières	33 à 50	42 à 45	42 à 65	travaux partiellement noyés
	Cabezac-Cabane	33 à 45		55 à 75	travaux partiellement noyés
	Cabezac-Camman	65 à 72		65 à 75	travaux non noyés
Cabezac-Sellette	34 à 38 40 à 57	53 à 60 65 à 70		travaux partiellement noyés	
Mailhac Pouzols Sainte-Valière	Mailhac Quartier 1	70 à 82	75 à 80	85 à 100	travaux ennoyés
	Mailhac Quartier 2	34 à 85	75 à 80	70 à 125	travaux partiellement noyés
	Saint-Jean de Caps	?	?	80 à 150	travaux non noyés
	Nord cimetièrre	65 à 70	75 à 80	70	travaux ennoyés
	Sud Mailhac	?	61 à 63	55 à 65	travaux non noyés
	Flanc est de la Serre d'Oupia	?	?	105 à 120	travaux non noyés
La Roueyre	La Roueyre	180 à 205	?	200 à 220	travaux non noyés

¹ La colonne « cotes travaux » ne prend en compte que les galeries de niveau. Les descenderies ou travers-bancs débouchant en surface peuvent avoir localement des cotes supérieures à celles mentionnées dans le tableau. L'évaluation de l'aléa gaz de mine devra donc prendre en compte ces ouvrages débouchant au jour même si les travaux souterrains sont en dessous du niveau de la nappe.

² Le niveau de la nappe a été estimé en fonction des données du BRGM (Infoterre) et du rapport ANTEA (cf. annexe 1 du rapport de la phase informative).

³ Ces cotes proviennent de la carte IGN au 1/25 000 et des données de l'étude du service hydrogéologie du Conseil Général de l'Aude [2].

⁴ Lorsqu'au moins une donnée manque pour estimer le niveau d'eau dans les travaux, il a été choisi de considérer les travaux comme non noyés (par mesures de sécurité dans l'évaluation de l'aléa gaz de mine).

2.7 CARTOGRAPHIE

Les cartes informatives et d'aléa sont disponibles sous la forme d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) sous MAPINFO 8.0, au système de coordonnées LAMBERT II CARTO.

La localisation des affleurements des couches de lignite résulte de différentes sources : anciens plans issus de la bibliographie consultée, observations sur site... On estime l'incertitude de ces affleurements de l'ordre de 5 m (Cabezac) à 50 m (Mailhac) selon les secteurs.

La décomposition de l'incertitude finale sur la localisation des travaux et des ouvrages miniers est explicitée dans le rapport de la phase informative. On retiendra les éléments suivants :

- incertitudes sur la position des ouvrages :

Au total, une centaine d'ouvrages débouchant en surface ont été identifiés sur les plans et pour certains vus sur le terrain et positionnés. Une vingtaine de désordres ont été répertoriés sur les titres miniers étudiés.

Pour chaque ouvrage positionné, une incertitude de localisation a pu être évaluée. Cette incertitude varie de 0,3 à 2 m pour les ouvrages reconnus et levés au dGPS, et jusqu'à 50 m pour les ouvrages issus d'anciens plans d'archives non retrouvés sur le site. L'incertitude des ouvrages non retrouvés est estimée en fonction de l'incertitude de calage du plan qui positionne l'ouvrage.

- incertitudes sur la localisation des travaux miniers :

Les incertitudes sur la localisation des travaux miniers sont reportées dans le Tableau 4 pour chaque secteur d'exploitation.

Tableau 4 : Estimation des incertitudes des zones de travaux (hors puits)

Concession ou PEX	Secteur	Source	Incertitude globale
Roueyre	Roueyre	dGPS	10 m
Bize	Mairie	dGPS	20 m
	Maurel	dGPS	50 m
	Roumingous / Prat Long	carte géologique pas de plan des travaux	
	Route d'Agel	archives	20 m
	La Sellette	dGPS	10 m
	Les Charbonnières	dGPS	15 m
	Cabane	dGPS	30 m
	Camman	archives	50 m
	Izards / Géneste / Broutade / Baysset / Lucarne / Larvin	pas de plan des travaux	
	Belvèze	dGPS	15 m
	Landure	dGPS et archives	50 m
	Les Tuileries	dGPS et archives	15 m
	Epi d'Orge	pas de plan des travaux	
Mailhac et Pouzols Sainte-Vaïrière	Quartier n°1 ou « Cote 109 » ou « du col »	archives	50 m
	Quartier n°2 ou « la Mine »	dGPS	15 m
	Vallon de Saint-Jean de Caps	archives	50 m
	Quartier du cimetière	dGPS	15 m

3. DEFINITION, EVALUATION DE L'ALEA « ECHAUFFEMENT »

3.1 ECHAUFFEMENT SUR LE BASSIN DU MINERVOIS

Le phénomène d'échauffement est un phénomène naturel engendré par l'oxydation de la matière organique des combustibles fossiles (charbon, lignite, schistes bitumineux, etc.). Il s'agit d'une combustion spontanée (auto-échauffement) due à une réaction exothermique comme l'oxydation qui induit une élévation importante de la température.

Dans le cas des terrils, le phénomène d'échauffement peut survenir notamment, si les facteurs suivants sont réunis :

- présence de matière combustible (fraction ligniteuse) ;
- porosité importante du dépôt facilitant la circulation d'air et donc la combustion ;
- « mise à feu » du dépôt : il peut s'agir, par exemple, d'un feu de broussaille.

Lors de la visite de terrain, aucune zone en combustion n'a été repérée sur les terrils inspectés (terrils de Mailhac et de la Roueyre principalement).

3.2 EVALUATION DU NIVEAU DE L'ALEA

Les matériaux de dépôts sont constitués de calcaire, marne et argile, contenant très peu de matières combustibles. D'ailleurs, le couvert végétal confirme cette qualité du matériau de recouvrement. L'expertise de terrain ainsi que la recherche d'archives ne relèvent aucun désordre lié à l'échauffement.

Sur le PEX de la Roueyre, d'après l'âge ancien des terrils, leur faible étendue et le fait qu'ils soient entièrement végétalisés, l'aléa « échauffement » peut raisonnablement être écarté sur l'emprise de ces dépôts.

Compte tenu de la morphologie du terril de Mailhac dont les éléments ligniteux ne constituent qu'une fine pellicule et compte tenu que certaines matières combustibles sont déjà rentrées en combustion (couleur rouge), la prédisposition pour ce dépôt est considérée comme négligeable. L'aléa « échauffement » est écarté sur l'emprise de ce dépôt de Mailhac.

Aucun aléa échauffement n'est donc retenu à l'échelle des titres miniers étudiés.

4. DEFINITION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA « MOUVEMENTS DE TERRAIN »

Pour le domaine des mouvements de terrain, et conformément aux informations de la phase informative, trois aléas sont retenus :

- l'aléa effondrement localisé ;
- l'aléa affaissement ;
- l'aléa tassement.

La phase informative a montré que chacun de ces phénomènes s'est manifesté, au moins une fois, sur le territoire des titres miniers étudiés.

Nous ne saurions être complets sans citer, pour information, les phénomènes de chutes de blocs et écroulements rocheux. Sur le territoire des titres miniers du bassin du Minervoïs de l'Aude, aucun front de falaise, lié à l'exploitation minière, susceptible de provoquer de tels phénomènes n'existe. Nous n'en ferons donc pas mention par la suite.

On se reportera à l'annexe 1 pour les généralités relatives à la description des phénomènes ainsi qu'à la méthode d'évaluation de l'aléa associé, issue du Guide méthodologique relatif à l'élaboration des PPRM [3].

4.1 ALEA EFFONDREMENT GENERALISE

Un effondrement correspond à un abaissement brutal de la surface qui se traduit par une rupture franche des terrains de surface.

On parle d'effondrement en masse ou généralisé lorsqu'il concerne une zone étendue en surface (plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres d'extension). Aucun phénomène de ce type n'a jamais été constaté sur le territoire concerné par les titres miniers du bassin du Minervoïs dans l'Aude, ni à proximité (bassin du Minervoïs dans l'Hérault - secteur de la Caunette - par exemple).

Les facteurs nécessaires à l'apparition d'un tel phénomène ne sont pas réunis sur le bassin étudié (dimensions sous-critiques des exploitations, homogénéité et régularité des travaux, exploitation partielle...). Seule la mine de Camman sur la concession de Bize a connu une exploitation par chambres et piliers. Le taux de défruitement de la zone exploitée est faible, l'élançement des piliers probablement faible et compte tenu de la profondeur estimée des travaux (5 à 25 m), les contraintes s'exerçant au sein des piliers sont peu importantes. Par ailleurs, les piliers semblent avoir été repris par la suite, de sorte à assimiler cette exploitation à une exploitation totale (tailles remblayées par exemple).

De plus, les données géologiques rassemblées mettent en évidence l'absence de banc raide dans les terrains de recouvrement.

On peut donc **écarter l'aléa effondrement généralisé pour l'ensemble des titres miniers étudiés sur le bassin du Minervoïs.**

4.2 ALEA EFFONDREMENT LOCALISE

On parle d'effondrement localisé lorsque la rupture des terrains ne concerne qu'une zone d'extension limitée en surface (quelques mètres).

4.2.1 ZONE D'ALTERATION SUPERFICIELLE

La zone d'altération superficielle correspond aux terrains peu cohérents de surface susceptibles d'être immédiatement affectés par un effondrement des secteurs voisins. Sur le bassin du Minervois, les terrains de surface sont principalement constitués d'alternances plus ou moins répétitives de marnes et calcaires : ils présentent donc des propriétés géomécaniques variables. Seuls les niveaux les plus superficiels sont susceptibles d'être déconsolidés par l'action des eaux météoriques ou des travaux de terrassement typiques de milieux urbains.

Compte tenu de la géométrie des effondrements observables sur le bassin du Minervois (formes coniques) et de la nature des terrains de recouvrement (marnes, calcaires), nous avons considéré que l'épaisseur de la zone d'altération superficielle est de l'ordre de 5 m au maximum.

4.2.2 EFFONDREMENT LOCALISE LIE AUX GALERIES ET DESCENDERIES ISOLEES

4.2.2.1 FONTIS RECENSES SUR LES TITRES MINIERS DU BASSIN DU MINERVOIS DE L'AUDE

Un fontis correspond à la remontée jusqu'au jour d'un éboulement initié dans une excavation souterraine.

La phase informative réalisée par l'INERIS permet de citer plusieurs cas de fontis survenus au droit de galeries des titres miniers étudiés :

- effondrement localisé sur galerie et effondrement d'entrée de galerie sur la mine de la Sellette (concession de Bize) ;
- effondrement localisé sur la mine des Tuileries (concession de Bize) ;
- effondrement localisé en 1914 sur la mine de la Route d'Agel (concession de Bize) ;
- plusieurs effondrements localisés et effondrement d'une entrée de galerie sur la mine de Belvèze (concession de Bize) ;
- effondrement de la dalle de protection de la galerie MG7 du quartier n°2 de Mailhac ;
- effondrement localisé linéaire sur le PEX de la Roueyre.

4.2.2.2 EVALUATION DE L'ALEA EFFONDREMENT LOCALISE LIE A LA PRESENCE DE GALERIES ISOLEES

Le nombre de cas de fontis survenus sur le territoire des titres miniers du bassin du Minervois de l'Aude ne permet pas, à lui seul, d'établir la profondeur limite à partir de laquelle le risque de remontée de fontis en surface devient nul.

Nous avons estimé la hauteur maximale de remontée de fontis à l'aplomb de galeries à partir d'un modèle de calcul prenant en compte en particulier les caractéristiques géométriques des vides résiduels, le coefficient de foisonnement et l'angle de talus naturel des terrains de recouvrement⁵.

⁵ Voir Mémoire de DEA de l'Ecole Centrale de Paris. R. Salmon. INERIS. 1998.

Le calcul est mené sur une base volumétrique : la hauteur maximale de remontée de fontis est celle pour laquelle le volume foisonné provenant de la cheminée du fontis égalise la somme des volumes de la galerie et de la cheminée.

Compte tenu des quelques informations, issues de la phase informative (plans et archives), sur la géométrie des galeries, nous avons fait les hypothèses suivantes :

Tableau 5 : Hypothèses sur la configuration des vides résiduels en galerie

Paramètre	Hypothèses A	Hypothèses B
Largeur de la galerie	1 m	2 m
Hauteur de la galerie	1,5 m	2 m
Angle des parements	90°	90°

L'expérience montre que les fontis s'initient sur une largeur égale ou légèrement inférieure à la largeur totale de la galerie. Pour rester du côté de la sécurité, nous avons fait varier le rayon du fontis dans une gamme de 80% à 100% du rayon maximal possible.

Les valeurs du coefficient de foisonnement retenues sont issues de la classification R.T.R.⁶ pour les terrains marno-calcaires.

Les résultats des hauteurs maximales de remontée de fontis à l'aplomb de galeries sont présentés dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Hauteurs maximales de remontée de fontis à l'aplomb de galeries

Paramètre	Hypothèses A		Hypothèses B	
	Calcul 1	Calcul 2	Calcul 1	Calcul 2
Rayon au toit du fontis	0,50 m	0,40 m	1 m	0,80 m
Angle de talus des matériaux éboulés	35°		35°	
Coefficient de foisonnement	1,3		1,3	
Hauteur de remontée du fontis	19,6 m	28,5 m	19,9 m	28,2 m

Les résultats indiquent qu'on ne peut exclure la possibilité d'apparition d'un fontis au droit d'une galerie dont la profondeur est inférieure à 30 m.

Compte tenu des retours d'expérience d'effondrement localisé sur le bassin du Minervois et des facteurs défavorables, vis-à-vis de l'auto-comblement d'un fontis, tels que la nature des matériaux constitutifs du recouvrement (marnes) et le pendage moyen des galeries (le matériau éboulé du toit étant susceptible de se répandre en aval de la galerie), nous avons retenu, pour une galerie à moins de 30 m de profondeur :

- une prédisposition sensible des galeries et descenderies isolées pour le phénomène de fontis ;
- une intensité modérée (compte tenu que le diamètre de l'effondrement attendu en surface est évalué à quelques mètres) ;

⁶ Recommandations pour les Terrassements Routiers (RTR). SETRA et LCPC. 1976.

- par conséquent, un **aléa moyen**.

Au-delà de 30 m de profondeur, le risque de remontée de fontis en surface peut être écarté. Des phénomènes de tassements différentiels sont néanmoins susceptibles d'affecter les terrains de surface à l'aplomb des cloches de fontis autocomblées par exemple. Ils sont traités dans le cadre de l'aléa tassement, de manière distincte.

4.2.3 EFFONDREMENT LOCALISE LIE AUX ZONES D'EXPLOITATION

La phase informative permet de citer des cas de fontis au droit de travaux du quartier n°2 des concessions de Mailhac, Pouzols et Sainte-Valière (MD1 et MD2).

D'après la phase informative, les vides résiduels liés aux travaux souterrains peuvent être de plusieurs ordres :

- vides de dimensions réduites liés à des exploitations, par tailles ou dépilages, de faible ouverture ;
- vides liés à un remblayage partiel des travaux (la taille, la plus proche de la surface, n'était souvent pas comblée) ;
- vides francs liés aux voies de roulage ou couloirs d'aérage ;
- vides proches de la surface liés à un écoulement de produits de comblement vers des vides plus profonds (débouillage) ;
- vides francs liés à la méthode des chambres et piliers (cas de la Mine de Camman dans une approche sécuritaire de l'aléa).

La présence de vide souterrain est donc possible sur l'ensemble des zones de travaux.

Comme pour le cas des galeries isolées, le nombre et la description des cas de fontis survenus sur le bassin du Minervois ne permettent pas, à eux seuls, d'établir la profondeur à partir de laquelle le risque de remontée de fontis en surface peut être écarté à l'aplomb des zones de travaux.

Nous avons donc estimé la hauteur maximale de remontée de fontis à l'aplomb de chambres à partir d'un modèle de calcul (§ 4.2.2.2).

Compte tenu des quelques informations issues de la phase informative, on sait que la puissance de la couche exploitée est souvent inférieure à 2 m et que les travaux sont parfois remblayés. Nous avons donc fait les hypothèses suivantes :

- largeur du vide : 2 à 3 m ;
- hauteur du vide : 2 m ;
- angle des parements : 90°.

Les résultats des hauteurs maximales de remontée de fontis à l'aplomb de travaux sont présentés dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Hauteurs maximales de remontée de fontis à l’aplomb de travaux miniers souterrains

Paramètre	Calcul 1	Calcul 2
Rayon au toit du fontis	1,4 m	1,1 m
Angle de talus des matériaux éboulés	35°	
Coefficient de foisonnement	1,3	
Hauteur de remontée du fontis	21 m	29 m

Les résultats indiquent qu’on ne peut exclure la possibilité d’apparition d’un fontis au droit d’un vide dont la profondeur est inférieure à 30 m.

Il faut ajouter que certaines des couches exploitées sur les titres miniers du bassin du Minervois sont pentées à plus de 25°. La présence de secteurs de travaux remblayés est attestée pour certaines zones, dans les documents consultés. Le pendage favorise le départ (ou débouillage) des remblais dans la mesure où un vide est disponible en aval et où l’hydrogéologie est favorable (remontée et/ou circulation des eaux). La cheminée de fontis peut ainsi remonter plus haut que dans la configuration des travaux en plateure, les vides potentiels disponibles étant plus importants.

Pour les travaux pentés du bassin du Minervois (secteurs du nord de Bize, mine de Landure, mine des Tuileries, secteur de Saint-Jean de Caps), l’aléa effondrement localisé sera donc maintenu pour des travaux souterrains situés entre 0 et 50 m de profondeur.

Enfin, on estime que des travaux superposés existent sur le site de Maurel (au nord de Bize), sur le site des Charbonnières et de Cabane. Bien que certaines archives mentionnent des chantiers remblayés, on peut donc considérer la présence de 2 à 3 niveaux de vides résiduels superposés dans ces secteurs, soit un vide équivalent maximum de 3 à 5 m de hauteur pour 2 à 3 m de largeur. Pour ces sites de travaux superposés, l’aléa effondrement localisé sera donc maintenu pour des travaux souterrains situés entre 0 et 50 m de profondeur

Pour des travaux en plateure à moins de 30 m de profondeur et pour les travaux pentés ou superposés à moins de 50 m de profondeur, nous avons retenu un **aléa moyen** lié à :

- une prédisposition sensible des travaux souterrains pour le phénomène de fontis (compte tenu, en particulier, de cas recensés sur le bassin du Minervois, et de la nature des matériaux constitutifs du recouvrement (marnes, grès, argile) non susceptible, a priori, de stopper la remontée jusqu’au jour d’une cloche de fontis ;
- une intensité modérée pour le phénomène de fontis (dimensions de quelques mètres attendues).

Au-delà des 30 m de profondeur pour les travaux en plateure et de 50 m pour les travaux pentés ou superposés, le risque de remontée de fontis en surface peut être considéré comme négligeable. Des phénomènes de tassement différentiel sont néanmoins susceptibles d’affecter les terrains de surface. Ils sont traités dans le cadre de l’aléa tassement.

Cas particulier des travaux supposés :

Sur le PEX de la Roueyre et le secteur des travaux de la Mairie, les investigations de la phase informative (PV de visite) mettent en évidence des travaux par tailles non recensés sur les plans d'archives (cf. cartes informatives). Sans informations supplémentaires quant à la profondeur, nous considérerons, par analogie avec les travaux à proximité, que des vides miniers souterrains sont possibles à moins de 30 m de profondeur. Pour les mêmes raisons que ci-dessus, l'aléa correspondant sera considéré comme moyen.

4.2.4 EFFONDREMENT LOCALISE LIE AUX PUIITS

La phase informative du bassin lignitifère du Minervoie fait mention d'un débouillage au droit d'une cheminée de la mine de Belvèze sur la concession de Bize.

La plupart des puits mentionnés dans les archives et sur les plans ne sont plus visibles actuellement (comblés, végétalisés...).

Sur les concessions de Bize et Pouzols Sainte-Valière, seuls quelques puits semblent avoir été mis en sécurité par les propriétaires actuels ou l'administration (Tableau 8).

Pour les autres puits, leur localisation exacte n'est pas connue et peu d'informations sont disponibles à leur sujet (surtout ceux antérieurs à 1900).

Sur le bassin du Minervoie, on peut distinguer :

- les puits anciens (catégorie 1), souvent de profondeur et de diamètre limités. En général, leur localisation exacte n'est pas connue et peu d'informations sont disponibles ;
- les puits (catégorie 2) qui ont fait l'objet de traitement de mise en sécurité (Tableau 8), souvent par la mise en place de remblais ou de dalle ;
- les puits, retrouvés sur le site et qui se situent proches des affleurements mais dont l'origine minière n'est pas prouvée (catégorie 3) : B18, B17 et M7.

Tableau 8 : Liste des puits traités et validés par l'administration

Ouvrage traité	Mine - Concession	Travaux réalisés	Diamètre (m)	Année des travaux	Observations
B22	Mine de Cabane – Concession de Bize	Remblayé lors de la réalisation du captage à proximité	1,5	1988	Données Infoterre
B24	Mine de la Sellette – Concession de Bize	Dalle en béton et trappe d'accès car utilisé pour captage d'eau	1,5	Avant 1959	
B26	Mine des Charbonnières – Concession de Bize	Dalle en béton en profondeur puis remblai jusqu'en surface	2	Vers 1990	Travaux réalisés par le propriétaire du terrain
B27	Mine des Charbonnières – Concession de Bize	Remblayé		Avant 1967	Travaux réalisés par le propriétaire du terrain
B35	Mine de Belvèze – Concession de Bize	Remblayé jusqu'en surface	1	Vers 1990	Travaux réalisés par le propriétaire du terrain
M9	Quartier n°2 – Concession de Mailhac	Remblayé		1959	
M11	Quartier n°2 – Concession de Mailhac	Remblayé à 0,3 m de profondeur	1,5	1959	

Pour caractériser l'aléa effondrement localisé lié à la présence des puits miniers, nous avons retenu :

- une intensité modérée pour le phénomène en surface (compte tenu que le diamètre de l'effondrement attendu en surface est de quelques mètres) ;
- une prédisposition :
 - sensible pour les puits de catégorie 1 (c'est-à-dire les puits pour lesquels on ne dispose d'aucune information quant à leur traitement éventuel) ;
 - peu sensible pour les puits de catégorie 2 qui ont été localisés (c'est-à-dire les puits pour lesquels un traitement de mise en sécurité par comblement a été réalisé et parfois contrôlé par l'Administration des Mines). Pour ces puits remblayés, la prédisposition au débouillage ne peut être écartée ;
 - peu sensible pour les puits de catégorie 3 dont l'origine minière n'est pas prouvée et qui ne sont peut-être pas reliés à des travaux souterrains : B17, B18, M4 M7, et M12.
- par conséquent, un **aléa moyen** pour les puits de catégorie 1 et un **aléa faible** pour les puits reconnus de catégories 2 et 3.

Toutefois, l'aléa faible est, dans chaque cas, minorant par rapport à l'aléa effondrement localisé moyen lié à la présence de travaux souterrains (§ 4.2.6.2) dans leur entourage.

4.2.5 EFFONDREMENT LOCALISE A PROXIMITE D’AFFLEUREMENTS ET DES ZONES DE GRATTAGES

D’après la phase informative, on sait que des travaux, plus ou moins anciens ont été entrepris dans les terrains où affleurerait le lignite : galeries aux affleurements dans les quartiers 1 et 2 de Mailhac, flanc est de la Serre d’Oupia, secteurs au nord de Bize et proche du cimetière et au sud de Mailhac.

On ne peut donc garantir l’exhaustivité des galeries débouchant en surface dont la phase informative a présenté le recensement. Ajoutons que la direction des galeries est parfois inconnue ou incorrectement reportée.

Par conséquent, on considèrera que, à proximité d’un affleurement et dans les zones de grattages repérées sur la carte informative :

- l’existence d’une galerie non recensée dans les archives ne peut être exclue ;
- la prédisposition de la remontée d’un fontis est sensible à peu sensible (l’existence de vide n’est pas démontrée) ;
- **l’aléa effondrement localisé est faible.**

Concernant les affleurements situés à proximité des quartiers 1 et 2 de Mailhac, comme l’ensemble des couches de lignites affleurantes connues grâce aux plans d’archives n’a pu être localisé avec précision sur la carte informative, un aléa effondrement localisé de niveau faible a été cartographié entre les affleurements tracés. Cette zone d’aléa est limitée au sud par la route D605 (d’après le plan 13 de l’annexe 3 du rapport de la phase informative [1]) et au nord par la limite de la formation d’Agel (contenant le lignite) et les courbes topographiques. Elle rejoint alors les zones de grattages au nord de Bize.

4.2.6 CARTE DE L’ALEA EFFONDREMENT LOCALISE

Le Tableau 9 synthétise l’aléa effondrement localisé en fonction des ouvrages miniers concernés. Cet aléa est reporté sur la carte 1.

Tableau 9 : Aléa effondrement localisé

Ouvrage minier	Aléa effondrement localisé
Galeries isolées à moins de 30 m de profondeur	Moyen
Exploitations en plateure à moins de 30 m de profondeur	Moyen
Exploitations pentées ou superposées à moins de 50 m de profondeur	Moyen
Puits mis en sécurité (catégorie 1)	Moyen
Puits de catégorie 2 ou 3	Faible
Secteurs de grattages et proches d’affleurement ayant pu faire l’objet de travaux	Faible

Il apparaît que la majorité des secteurs exploités sur les titres miniers étudiés se situe à une profondeur inférieure à 30 m, excepté les travaux de Saint-Jean de Caps sur la concession de Mailhac, Pouzols et Sainte-Valière et quelques galeries des sites de Maurel et de la Route d’Agel sur la concession de Bize. L’aléa

effondrement localisé de niveau moyen touche donc pratiquement tous les secteurs exploités (galeries et travaux).

4.2.6.1 FONTIS A L'APLOMB D'UNE GALERIE

Sur la carte d'aléa effondrement localisé, nous avons cartographié les zones d'aléa moyen à l'aplomb des galeries connues.

Afin d'évaluer la distance horizontale de report du critère de profondeur (30 m) établi précédemment et compte tenu du grand nombre de galeries, nous avons retenu le principe général schématisé ci-dessous :

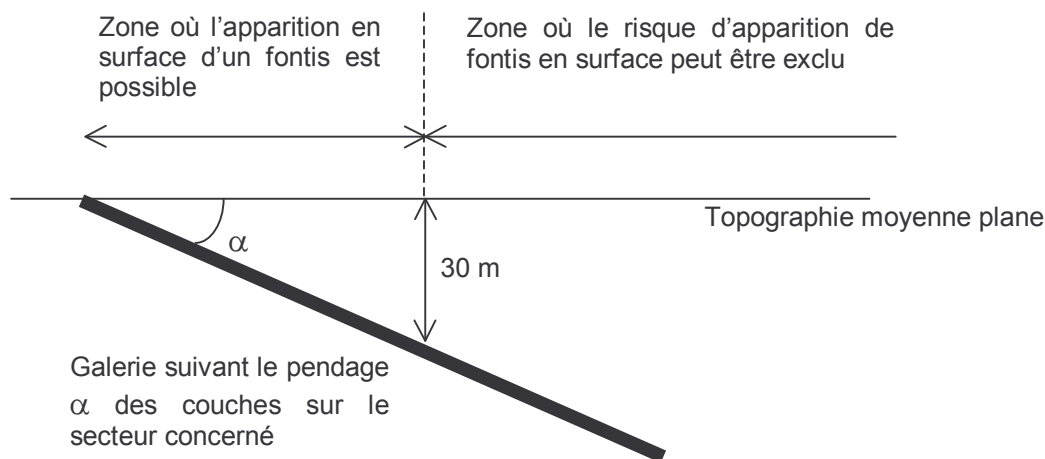


Figure 1 : Principe de cartographie de la zone où le risque d'apparition d'un fontis au droit d'une galerie souterraine ne peut être écarté.

Nous avons ajouté une marge de sécurité comprenant :

- l'incertitude globale de localisation de la galerie (Tableau 4, l'incertitude de positionnement de la galerie + l'incertitude liée au support cartographique BDORTHO®) ;
- et l'extension latérale d'un fontis apparaissant en surface (pris égal à l'épaisseur des terrains peu cohérents de surface, soit au plus de 5 m).

Globalement, cette marge de sécurité varie de 15 à 50 m selon les secteurs de travaux.

En vue en plan, l'aléa effondrement localisé lié à la présence des galeries est cartographié de la manière suivante (on limite la zone d'aléa à l'affleurement lorsque celui-ci est connu ou interprété) :

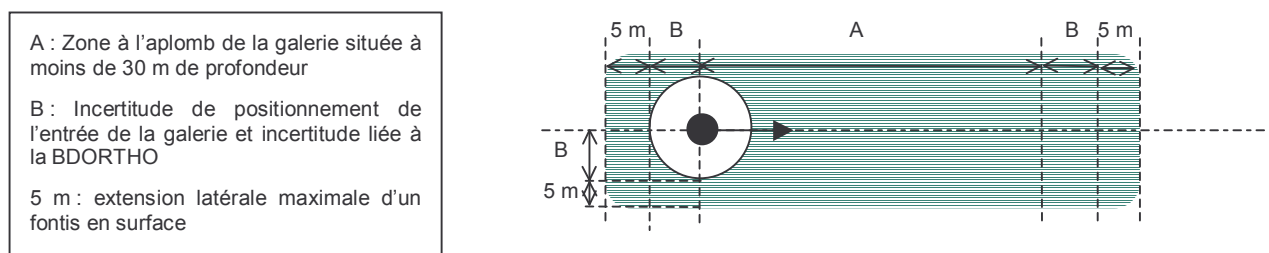


Figure 2 : Zonage de l'aléa effondrement localisé lié à la présence d'une galerie souterraine

La cartographie de l'aléa effondrement localisé à proximité d'un affleurement suit les mêmes principes que ceux présentés pour les galeries reconnues.

4.2.6.2 FONTIS A L'APLOMB DE TRAVAUX D'EXPLOITATION

Sur la carte d'aléa effondrement localisé, nous avons cartographié les zones d'aléa moyen à l'aplomb des zones de travaux, pentés ou superposés, connus à moins de 50 m de profondeur et au droit des travaux en plateure à moins de 30 m de profondeur.

Nous avons ajouté une marge de sécurité comprenant :

- l'incertitude globale de localisation (incertitude de positionnement + incertitude liée au support cartographique, Tableau 4) ;
- et l'extension latérale d'un fontis apparaissant en surface (pris égal à l'épaisseur des terrains peu cohérents de surface, soit au plus de 5 m).

Globalement, cette marge de sécurité autour des travaux d'extraction varie, comme pour les galeries, de 15 à 60 m de largeur.

Cas particulier des travaux de Saint-Jean de Caps et du Prat Long :

Les travaux situés à l'ouest du ruisseau de Saint-Jean de Caps et ceux du Prat Long ont été localisés avec une grande imprécision, du fait du manque de points de calage. Par conséquent, l'enveloppe des travaux connus et à moins de 50 m de profondeur est très globale et approximative. Lors de la cartographie de l'aléa, nous n'y avons pas ajouté de marge de sécurité supplémentaire.

4.2.6.3 EFFONDREMENT DE LA TETE DE PUIITS

Sur la carte d'aléa effondrement localisé, nous avons cartographié les zones d'aléa définies précédemment à proximité de la tête des puits.

Le rayon de la zone d'aléa est défini à partir du centre du puits et comprend :

- le rayon du puits (1 m si non renseigné) ;
- un rayon supplémentaire correspondant à l'extension latérale du cône d'effondrement (pris égal à l'épaisseur des terrains peu cohérents de surface, soit au plus de 5 m) ;
- un rayon supplémentaire correspondant à l'incertitude liée au support cartographique, la BDORTHO® (3 m environ) ;
- un rayon supplémentaire correspondant à l'incertitude sur la localisation exacte du puits (0,3 à 50 m selon la source).

Un rayon global de 10 m à 50 m sera donc tracé autour des puits.

4.2.6.4 FONTIS A L'APLOMB DE ZONES DE GRATTAGE OU A PROXIMITE D'AFFLEUREMENT

Comme l'enveloppe des zones de grattage définies dans la phase informative (au nord de Bize, sur la Serre d'Oupia, au sud de Mailhac et à Lécugne) est très globale et approximative, nous n'y avons pas ajouté de marge de sécurité supplémentaire, lors de la cartographie de l'aléa.

En ce qui concerne les travaux aux affleurements (galeries essentiellement), lors de la cartographie de l'aléa effondrement localisé, nous avons choisi de considérer une marge globale et sécuritaire de 50 m de part et d'autre de

l'affleurement tracé. Cette marge englobe l'incertitude de localisation des affleurements (cf. §2.7) et la présence de vides miniers à faible profondeur (inférieure à 50 m). Toutefois, cette marge a été limitée en amont de l'affleurement lorsque celui-ci était placé avec plus de précision et/ou grâce à des éléments topographiques (cours d'eau, front de falaise...).

4.3 ALEA AFFAISSEMENT

4.3.1 DESCRIPTION DU PHENOMENE EN SURFACE

L'affaissement correspond au mouvement des terrains de surface induit par l'éboulement des travaux souterrains. Ce mouvement qui se fait de façon souple et progressive résulte en une dépression topographique, sans rupture cassante importante, avec une allure de cuvette.

4.3.2 AFFAISSEMENT AU-DESSUS DE TRAVAUX SOUTERRAINS PENTES A MOINS DE 50 M DE PROFONDEUR

Sur le bassin du Minervois, il semble que des affaissements ont eu lieu sur le PEX de la Roueyre au droit de travaux peu profonds. La phase informative menée par l'INERIS permet aussi de citer des cas d'affaissements sous la voie ferrée dus aux travaux du site de Cabezac et des fissures sur la chaussée au droit des travaux du quartier n°2 de Mailhac.

Les mines de Maurel, de Mairie, de Landure, des Tuileries et de Saint-Jean de Caps présentent des travaux pentés (pendage supérieur à 25°) et pour la plupart remblayés. Le risque d'écoulement de remblais fins (débouillage) et la génération de vides ne permet pas d'exclure totalement l'occurrence de phénomènes de reprise d'affaissement liés à la fermeture progressive des vides et à la remobilisation des terrains sus-jacents. L'occurrence d'affaissements à l'aplomb de ce type d'exploitations dépend directement de la rupture des cavités (éboulement). Ainsi, des phénomènes d'affaissement peuvent alors être initiés plusieurs années ou décennies après la fermeture des travaux si les structures souterraines sont suffisamment résistantes pour demeurer stables jusqu'à ce terme.

Considérant les points suivants :

- des terrains de recouvrement relativement peu résistants : la plus grande partie des terrains de recouvrement composés de marnes et de calcaire marneux est sensible au délitage ;
- des piliers résiduels, quant ils existent, composés essentiellement de lignite dont la résistance à la compression est généralement faible ;
- des exploitations pentées remblayées (tailles) et peu profondes (moins de 50 m) ;
- peu de cas d'affaissement recensés ;

la prédisposition du phénomène « affaissement » sera donc considérée comme peu sensible sur l'ensemble des secteurs exploités par tailles remblayées au pendage.

L'intensité d'un affaissement lié à la présence d'exploitations peu profondes dans le contexte étudié peut être considérée comme limitée à très limitée. Bien que manquant de retours d'expérience sur des cas observés, on peut toutefois préciser que l'ordre de grandeur des affaissements attendus ne peut être que centimétrique à décimétrique tout au plus.

Par croisement de l'intensité et de la prédisposition, **le niveau de l'aléa affaissement est qualifié de faible au-dessus des exploitations pentées peu profondes.**

Ce niveau d'aléa est applicable à l'ensemble des secteurs situés à l'aplomb des zones d'exploitations peu profondes et pentées (mines de Maurel, de Mairie, de Landure, des Tuileries, de Saint-Jean de Caps).

Les travaux souterrains supposés situés sur les sites au nord de Bize (§ 4.2.3) ont été cartographiés avec un aléa faible pour les mêmes raisons que ci-dessus.

4.3.3 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA AFFAISSEMENT

Les limites matérialisant en surface la zone influencée par le phénomène d'affaissement sont déterminées à partir d'un angle dit « angle d'influence », pris sur la verticale, qui relie l'extrémité du panneau au fond, aux points de la surface où les affaissements, déformations ou pentes sont considérés comme imperceptibles ou nuls.

Le choix des valeurs de l'angle d'influence joue donc directement sur l'importance de la zone affectée et doit être pris avec précaution.

En gisement penté (pendage supérieur à 25° comme sur les sites au nord de Bize, de Landure, des Tuileries et de Saint-Jean de Caps), on peut être conduit à distinguer trois angles limites, pris sur la verticale, qui varient en fonction du pendage (Figure 3) :

- l'angle limite (γ), dans la direction de chassage dont la valeur est égale à l'angle limite en plateure ;
- l'angle limite « amont », γ_{amont} , plus petit que l'angle γ ;
- l'angle limite « aval », γ_{aval} , toujours plus grand que l'angle γ .

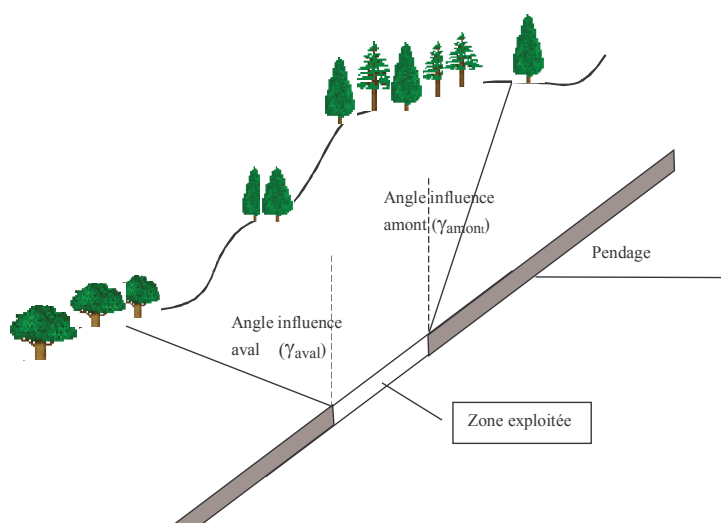


Figure 3: Représentation théorique des angles d'influence amont et aval en gisement penté

Toutefois, en l'absence d'informations précises sur les valeurs de ces angles dans le contexte géologique local des mines du bassin du Minervois, nous considérerons toujours un angle de 35° en amont comme en aval du gisement. Cette valeur reste sécuritaire dans le cas de terrains de recouvrement relativement compétents (marnes, calcaires, grès).

Pour la cartographie de l'aléa affaissement, nous avons ajouté une marge de sécurité comprenant l'incertitude globale de localisation des travaux (incertitude de positionnement + incertitude liée au support cartographique, Tableau 4). Toutefois, cette marge a été limitée en amont de l'affleurement lorsque celui-ci était placé avec plus de précision et/ou grâce à des éléments topographiques (cours d'eau, front de falaise...).

Le Tableau 10 synthétise l'aléa affaissement en fonction des ouvrages miniers concernés. Cet aléa est reporté sur la carte 2.

Tableau 10 : Aléa affaissement

Ouvrage minier	Aléa affaissement
Exploitations pentées remblayées (mines de Maurel, de Mairie, de Landure, des Tuileries, de Saint-Jean de Caps)	Faible

4.4 ALEA TASSEMENT

Le tassement peut être lié à la recompaction d'un massif meuble ou affecté par les travaux souterrains sous l'effet de surcharges par exemple.

4.4.1 TASSEMENTS A L'APLOMB DE GALERIES

4.4.1.1 TASSEMENTS AU-DESSUS DE GALERIES

Les tassements sont des phénomènes d'extension et d'amplitude limitées. Comparés aux effondrements localisés, ils présentent moins de danger aux biens et aucun aux personnes. Par conséquent, ces phénomènes ne sont pas systématiquement portés à connaissance.

4.4.1.2 EVALUATION DE L'ALEA TASSEMENT

Nous évaluons à 50 m, la profondeur jusqu'à laquelle une galerie est susceptible d'entraîner un tassement perceptible en surface. Cette profondeur s'appuie sur le fait que :

- les terrains de recouvrement sont meubles (marnes, argiles, grès) ;
- jusqu'à 30 m de profondeur, la remontée d'un fontis en surface ne peut être exclue ;
- entre 30 et 50 m de profondeur, un départ de fontis au toit d'une galerie serait auto-foisonné avant d'atteindre la surface. Nous considérons que le phénomène de tassement est alors possible à l'aplomb de la cloche de fontis autocomblée située à moins de 20 m de profondeur.

Pour une galerie à moins de 50 m de profondeur, nous avons retenu :

- une prédisposition sensible pour le phénomène de tassement (compte tenu, en particulier, que quelques cas ont été recensés sur les titres miniers étudiés) ;
- une intensité limitée à très limitée pour le phénomène de tassement (compte tenu de l'impact limité du phénomène en surface) ;
- par conséquent, **un aléa faible**.

Il apparaît que la majorité des galeries sur les titres miniers étudiés se situe à une profondeur inférieure à 30 m, excepté celles des sites de Maurel et de la Route d'Agel sur la concession de Bize. L'aléa tassement n'est donc pas cartographié sur ces galeries déjà concernées par l'aléa effondrement localisé. Pour les travaux de Saint-Jean de Caps, les plans retrouvés ne nous permettent pas de distinguer avec précision les galeries des chantiers exploités. On considèrera donc, par mesures de précaution, uniquement les aléas liés à la présence de chantier.

4.4.1.3 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA TASSEMENT

Sur la carte d'aléa tassement, nous avons cartographié les zones d'aléa faible à l'aplomb des galeries connues et situées à plus de 30 m de profondeur.

Afin d'évaluer la distance horizontale de report du critère de profondeur (50 m) établi précédemment et compte tenu du grand nombre de galeries, nous avons retenu le principe général schématisé ci-dessous :

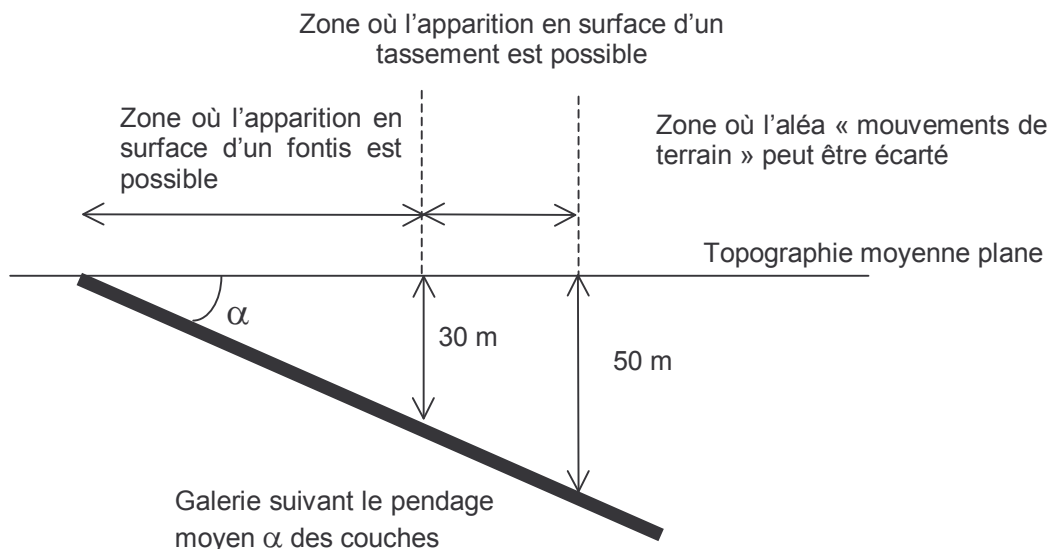


Figure 4 : Principe de dimensionnement de la zone où le risque d'apparition d'un tassement au droit d'une galerie souterraine ne peut être écarté

Nous avons ajouté une marge de sécurité comprenant l'incertitude de localisation de la galerie et l'incertitude liée au support cartographique.

Globalement, cette marge de sécurité pour les galeries est variable de 10 m à 50 m selon les titres miniers (Tableau 4).

En vue en plan, l'aléa tassement lié à la présence des galeries est cartographié de la manière suivante (Figure 5) :

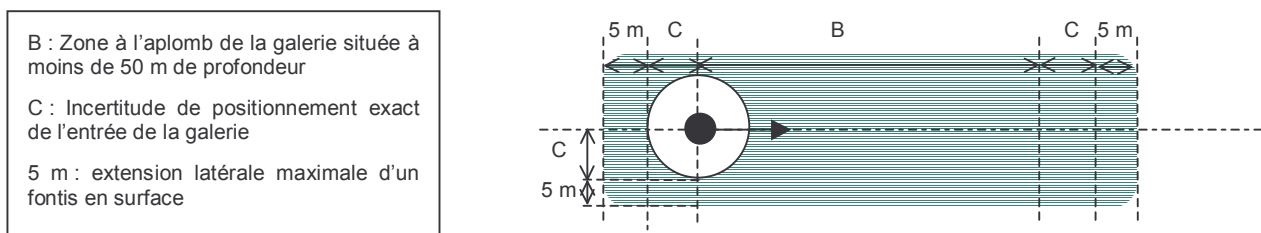


Figure 5 : Zonage de l'aléa tassement lié à la présence d'une galerie souterraine

4.4.2 TASSEMENTS AU-DESSUS DE TRAVAUX SOUTERRAINS NON PENTES A MOINS DE 50 M DE PROFONDEUR

4.4.2.1 EVALUATION DE L'ALEA TASSEMENT

Hormis les mines de Maurel, de Mairie, de Landure, des Tuileries, de Saint-Jean de Caps (exploitations pentées), le bassin du Minervoï présente, en majorité, des exploitations totales (tailles), non pentées, qui ont été par la suite souvent remblayées manuellement. Les vides miniers résiduels, peu profonds, sont alors de faibles dimensions mais toujours possibles si le remblayage est de mauvaise qualité. Seule la mine de Camman (concession de Bize) semble avoir été exploitée par la méthode partielle des chambres et piliers. Mais d'après les archives, cette zone a vraisemblablement été réexploitée par la suite (reprise de piliers). On peut donc considérer que la mine de Camman présente la même configuration de vides que les exploitations totales par tailles remblayées.

Or, dans le cas de travaux remblayés non pentés, on peut s'attendre à deux mécanismes induisant du tassement en surface :

- le tassement de l'ensemble des terrains de recouvrement et du remblai sous l'effet de surcharges en surface ;
- la formation de petit vide lié à la compressibilité propre du remblai mis en place ou encore à un mauvais remblayage. Ces vides pourront se refermer sous l'effet de surcharges en surface.

Ces mécanismes n'entraîneront que des phénomènes d'intensité limitée à très limitée. Bien que manquant de retours d'expérience sur des cas observés, on peut toutefois préciser que l'ordre de grandeur des tassements attendus ne peut être que centimétrique à décimétrique tout au plus.

La prédisposition est difficile à déterminer dans le cas présent : aucun événement marquant, attribuable sans ambiguïté à ce mécanisme, n'est connu sur le bassin du Minervoï. La prédisposition des zones situées au-dessus d'exploitations totales peu profondes et non pentées à être affectées par ce type de mécanisme peut être évaluée comme peu sensible pour ces travaux.

Par croisement de l'intensité et de la prédisposition, **le niveau d'aléa « tassement » est qualifié de faible au-dessus des exploitations non pentées et peu profondes.**

Ce niveau d'aléa est applicable à l'ensemble des secteurs en surface à l'aplomb des zones d'exploitations non pentées (mines de la Route d'Agel, des

Charbonnières, de Cabane, de Camman, de la Sellette, des quartiers 1 et 2 de Mailhac, du Nord Cimetière et de la Roueyre).

Les travaux souterrains supposés situés sur le PEX de la Roueyre (§ 4.2.3) ont été cartographiés avec un aléa faible pour les mêmes raisons que ci-dessus.

4.4.2.2 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA TASSEMENT

Les limites matérialisant en surface la zone influencée par le phénomène de tassement (par analogie avec l'auréole d'affaissement) au droit des travaux en plateure sont déterminées à partir d'un angle dit « angle d'influence », pris sur la verticale, qui relie l'extrémité du panneau au fond, aux points de la surface où les déformations ou pentes sont considérés comme imperceptibles ou nuls. Le choix des valeurs de l'angle d'influence joue donc directement sur l'importance de la zone affectée et doit être pris avec précaution.

En règle générale, pour évaluer l'aire de la cuvette de tassement en surface, on considère le plus souvent, dans une couche située en plateure (pendage subhorizontal), un angle d'influence (γ) de l'ordre de 35°.

Pour la cartographie de l'aléa tassement, nous avons ajouté une marge de sécurité comprenant l'incertitude globale de localisation des travaux (incertitude de positionnement + incertitude liée au support cartographique, Tableau 4). Toutefois, cette marge a été limitée en amont de l'affleurement lorsque celui-ci était placé avec plus de précision et/ou grâce à des éléments topographiques (cours d'eau, front de falaise...).

4.4.3 TASSEMENTS DE MATERIAUX CONSTITUTIFS DES TERRILS

4.4.3.1 MECANISME

Dans le quartier n°2 de la concession de Mailhac, un terril constitué de mélange de calcaire, de marne et d'argile présente une hauteur de 1 à 10 m (5 m en moyenne) et est actuellement réexploité.

Sur le PEX de la Roueyre, on dénombre deux terrils argileux de faible ampleur : 5 m de hauteur pour RT1 et 4 m pour RT2.

Sous l'effet de surcharges importantes en surface ou à l'occasion de modifications sensibles des conditions hydriques au sein des matériaux constitutifs de ces ouvrages, des tassements d'extension et d'amplitude limitées sont susceptibles d'affecter la surface.

Compte tenu de leur morphologie (hauteur, pentes) et de l'absence d'indices d'instabilité, l'aléa glissement est qualifié de très faible et n'est pas cartographié.

4.4.3.2 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA TASSEMENT AU DROIT DE TERRILS ET ZONES DE REMBLAIS MINIERS

Aucun cas de tassement lié à ce mécanisme n'a été porté à notre connaissance. On notera, cependant, qu'en général, l'absence de bâtiments, d'infrastructures ou d'activités humaines au droit de ces zones (sauf sur le terril de Mailhac) n'a pas permis un suivi régulier et exhaustif des événements passés.

Pour ces terrils miniers, nous proposons :

- une prédisposition peu sensible pour le phénomène de tassement ;
- une intensité limitée pour le phénomène de tassement (compte tenu de l'impact limité du phénomène en surface) ;
- **par conséquent, un aléa faible.**

La cartographie de l'aléa tassement lié aux terrils intéresse les emprises exactes des ouvrages. Compte tenu de la bonne précision du report de ces ouvrages sur les plans de surface, seule une marge liée à l'incertitude du support cartographique a été ajoutée (3 m).

4.4.4 TASSEMENTS DE LA TETE DES PUIITS OU D'ANCIENS FONTIS REMBLAYES

4.4.4.1 MECANISME

Pour les mêmes raisons que pour les stériles d'exploitation, mis en dépôt par voie sèche sous forme de verses, les matériaux déversés dans les puits ou les fontis, en vue de leur remblayage, peuvent subir une compaction parfois importante, susceptible d'engendrer la formation d'une dépression en surface.

A la suite d'affaissement minier (comme ceux répertoriés à la Roueyre par exemple), des phénomènes de tassement (ou de remontée de la surface du sol) peuvent apparaître à cause de variations importantes des conditions extérieures (ennoyage ou dénoyage des travaux, application de surcharges en surface). Ils correspondent, de fait, pleinement au phénomène de tassement.

4.4.4.2 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA TASSEMENT

La plupart des puits mentionnés dans les archives et sur les plans ne sont plus visibles actuellement (comblés, végétalisés...). Sur les concessions de Bize et Pouzols Sainte-Valière, seuls quelques puits ont été mis en sécurité, souvent par remblayage, par les propriétaires actuels ou l'administration (Tableau 8). Il en va de même pour les fontis qui ont été traités par remblayage (BD10 par exemple).

Pour caractériser l'aléa tassement lié à la présence de fontis remblayés, d'affaissement ou de puits miniers, nous avons retenu :

- une intensité limitée pour le phénomène en surface (compte tenu de la profondeur de la dépression attendue en surface) ;
- une prédisposition :
 - sensible pour les puits et les fontis ayant été mis en sécurité par remblayage ou non retrouvés (en particulier les puits pour lesquels on ne dispose d'aucune information quant à leur traitement éventuel) ;
 - sensible pour les zones affaissées du permis d'exploitation de la Roueyre ;
 - nulle pour les puits dont le traitement de mise en sécurité n'a pas nécessité de remblai (dalle en béton par exemple : B17, B18, B24, M7) ;
 - nulle pour les puits et les fontis ouverts retrouvés sur site (B4, B34, B38, M4, M12) ;

- par conséquent, un **aléa faible** pour les affaissements anciens de la Roueyre, les puits et les fontis ayant été mis en sécurité par remblayage ou non retrouvés.

Aucun aléa tassement n'a été cartographié sur les fontis et les puits ouverts ou traités sans remblai.

4.4.4.3 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA TASSEMENT

Sur la carte d'aléa tassement, nous avons cartographié les zones d'aléa définies précédemment à proximité de la tête des puits, des fontis remblayés ou non retrouvés et des affaissements de la Roueyre.

Le rayon de la zone d'aléa tassement au droit d'un puits et des fontis, remblayés ou non retrouvés, est défini de la même manière que pour l'aléa effondrement localisé.

Compte tenu du tracé approximatif des zones d'affaissement ancien de la Roueyre, aucune marge supplémentaire n'a été cartographiée en aléa tassement.

4.4.5 CARTE DE L'ALEA TASSEMENT

Le Tableau 11 synthétise l'aléa tassement en fonction des ouvrages miniers concernés. Cet aléa est reporté sur la carte 2.

Tableau 11 : Aléa tassement

Ouvrage minier	Aléa tassement
Galeries isolées à plus de 30 m de profondeur	Faible
Travaux souterrains non pentés et peu profonds	Faible
Terrils	Faible
Tête de puits, fontis remblayés ou non retrouvés, affaissements anciens	Faible

5. DEFINITION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA EMISSION DE GAZ DE MINE

5.1 INTENSITE DE L'ALEA

L'intensité d'un tel phénomène est basée d'une part sur le caractère historique grisouteux ou non du gisement, d'autre part sur la potentialité et l'intensité de flux de gaz de mine depuis les vieux travaux jusqu'à la surface.

L'examen des documents en notre possession a permis de mettre en évidence que les mines de lignite du bassin du Minervois dans l'Aude n'étaient pas grisouteuses.

Toutefois, l'atmosphère des vides miniers résiduels peut être appauvrie en oxygène et alimentée en gaz nocifs par une oxydation très intense du gisement pouvant dans certains cas évoluer vers une autocombustion. En effet, pendant la période d'exploitation, des feux se sont développés entraînant des dégagements de gaz toxiques ou inflammables tels que le CO₂, le monoxyde de carbone ou l'hydrogène. Le lignite du gisement du Bois d'Asson (Lubéron), ayant globalement les mêmes caractéristiques, constitue un exemple de point d'échauffement actif avec un dégagement en surface d'un mélange gazeux (produits de combustion, hydrocarbures, hydrogène, produits soufrés toxiques...).

Sur le bassin du Minervois, aucun désordre de ce type ne s'est manifesté en surface et on ne connaît pas, à l'heure actuelle, de zones encore en combustion.

Compte tenu de ces informations et de la nature du gisement exploité, on peut a priori envisager la présence dans l'atmosphère des anciens travaux miniers non ennoyés de dioxyde de carbone et d'air désoxygéné ainsi que, dans une moindre mesure, de monoxyde de carbone.

D'après les éléments précédents, on peut considérer que les vieux travaux miniers du secteur étudié sont susceptibles d'émettre un flux limité de gaz de mine vers la surface. Cependant, le mélange émis peut contenir dans certains cas, en fonction de la dilution du gaz dans les vides miniers, des composants asphyxiants ou toxiques à des teneurs entraînant un impact significatif.

Ainsi, dans les zones de travaux miniers, selon les critères du guide méthodologique (annexe 1 et [3]), l'intensité du phénomène est considérée comme faible à moyenne pour les gaz "classiques" traités dans le cadre de la présente analyse.

Cependant, lorsque les travaux souterrains sont de faible ampleur (volume exploité inférieur à 10 000 m³, galeries isolées par exemple), on considèrera l'intensité du phénomène comme très faible à nulle. Il en va de même pour les puits isolés des zones de travaux connus, les zones de grattages ou d'affleurement.

5.2 PREDISPOSITION DU SITE A LA MIGRATION DE GAZ

5.2.1 ETAT DE L'ENNOYAGE ET PRESENCE DES VIDES NON ENNOYES

La situation hydrodynamique au sein des vieux travaux miniers est considérée comme stabilisée à l'échelle humaine. L'épaisseur de la tranche de terrain non

ennoyé est significative. Elle correspond à l'ensemble des vieux travaux situés au-dessus du niveau hydrostatique. Ces exploitations non ennoyées présentent une prédisposition à émettre du gaz vers la surface.

En contrepartie, nous considérons que, dans le contexte étudié d'un gisement non grisouteux et d'un site émettant du gaz avec une intensité relativement limitée, les vieux travaux totalement ennoyés ne constituent pas une source de migration significative de gaz vers la surface.

L'évaluation du niveau de l'eau dans les travaux a été reportée dans le Tableau 3. Elle tient compte des cotes supposées de la nappe et des travaux d'exploitation du lignite.

5.2.2 MIGRATION DE GAZ A TRAVERS LES ROCHES DE COUVERTURE

L'épaisseur des terrains de recouvrement d'une partie des vides non ennoyés est limitée et *a priori* trop faible pour s'opposer efficacement à une migration éventuelle de gaz vers la surface.

Par ailleurs, aucun horizon à faible perméabilité n'est susceptible de s'opposer à la progression de gaz vers la surface.

Dans le contexte des titres miniers étudiés et en fonction des critères d'épaisseur de recouvrement, la prédisposition du milieu à la migration de gaz peut alors être évaluée comme peu sensible à sensible pour les travaux non ennoyés.

5.2.3 MIGRATION DE GAZ A TRAVERS LES LIAISONS FOND-SURFACE

La prédisposition du site aux sorties de gaz depuis les travaux souterrains s'accroît lorsque les anciens travaux sont en communication avec la surface par l'intermédiaire de puits, de galeries ou de désordres de type fontis. Ces ouvrages constituent des vecteurs préférentiels pour la migration du gaz de mine vers la surface, surtout s'ils sont restés ouverts ou s'ils n'ont pas été obturés de manière étanche.

Pour les puits, une mise en sécurité convenable (par exemple un bouchon autoportant en béton suffisamment long) permet de réduire cette prédisposition en empêchant des fuites de gaz, autres qu'une faible émanation diffuse vers l'atmosphère par des défauts d'étanchéité éventuels de l'ouvrage.

Aucun des puits recensés n'a été traité par bouchons en béton. De plus, les ouvrages dont l'information sur le traitement est parcellaire ou inexistante sont systématiquement considérés comme traités inefficacement vis-à-vis des émissions de gaz.

Sur le même principe, la prédisposition de migration de gaz à travers les désordres de type fontis, même remblayés, sera toujours considérée comme très sensible.

Concernant les ouvrages subhorizontaux comme les galeries d'accès, l'analyse de leur prédisposition doit prendre en compte à la fois le critère d'obturation et les critères relatifs à l'épaisseur de recouvrement.

Notons qu'une galerie à résurgence est susceptible d'évacuer préférentiellement le gaz (dissous ou libre) vers le milieu extérieur par l'intermédiaire des buses d'écoulement.

En fonction des éléments mentionnés ci avant, la prédisposition des ouvrages de liaison fond-surface est évaluée comme très sensible pour tous les ouvrages de communication de la surface (puits, entrées de galerie, fontis observés) vers les travaux non ennoyés.

5.3 EVALUATION DU NIVEAU DE L'ALEA

Par croisement de l'intensité (§5.1) et de la prédisposition à être affectée par le phénomène (§5.2), le niveau d'aléa émission de gaz de mine que nous retenons est :

- **l'aléa moyen pour tous les ouvrages**, non obturés par un bouchon en béton, reliant la surface (puits ou entrées de galerie ou fontis observés) à des travaux miniers susceptibles de contenir du gaz car ils constituent les vecteurs privilégiés de la migration du gaz vers la surface ;
- **l'aléa faible** à l'aplomb des secteurs où les **travaux miniers étendus sont non noyés** ;
- l'aléa nul pour les ouvrages ennoyés et/ou reliant la surface à des travaux miniers de faible ampleur (exemple : M4, M7, M12, BG9, B25, B24...) ;
- l'aléa nul lorsque les travaux sont ennoyés (sites de la Route d'Agel, de Nord cimetière et d'une partie du quartier n°2 de Mailhac) ;
- l'aléa nul pour les zones de grattages (dans les zones d'affleurement par exemple) ou de travaux miniers de faible ampleur (sites du Prat Long, de Sud Mailhac, de la Serre d'Oupia, à l'est de Saint-Jean de Caps, la Sellette).

5.4 LIMITE DE ZONAGE

Seuls les niveaux d'aléa moyen et faible ont été cartographiés.

Le niveau d'aléa faible est applicable aux secteurs à l'aplomb de travaux souterrains. A l'emprise des travaux, nous avons ajouté une auréole liée à la zone d'influence de ces travaux, qui sera identique à celle prise lors de l'aléa affaissement. Pour les travaux et sans étude technique supplémentaire, l'angle d'influence sera pris sécuritairement à 35°.

En niveau moyen, à l'emprise des ouvrages débouchant en surface (puits ou entrées de galerie ou fontis), nous avons ajouté :

- un rayon supplémentaire d'incertitude de positionnement relative à chaque ouvrage (entre 0,3 et 50 m) ;
- un rayon supplémentaire d'incertitude de positionnement propre au support cartographique (3 m environ) ;
- un rayon de sécurité correspondant à la distance nécessaire à la dilution de gaz émis par l'orifice et prenant aussi en compte des migrations latérales éventuelles de gaz par le sol à partir de la tête de l'ouvrage concerné. Nous estimons ici cette distance à 15 m.

L'aléa émission de gaz de mine est zoné sur la carte 3.

6. DEFINITION, EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS POLLUTION DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES

6.1 ALEA POLLUTION DES EAUX SUPERFICIELLES

Aucune zone d'exhaure n'a été retrouvée sur le territoire des titres miniers étudiés. Par ailleurs, les mesures effectuées sur les eaux superficielles (prélèvements dans la Cesse) lors de la campagne en septembre 2006 ne font pas état d'un impact significatif [1] des travaux miniers sur la qualité des eaux. On notera aussi que tous les cours d'eau secondaires, affluents de la Cesse, étaient à sec à cette période.

On peut donc conclure qu'en période de basses eaux, les eaux de transit s'infiltrent rapidement et sont drainées dans l'encaissant calcaire fracturé. Il n'y a donc pas de résurgences en surface d'eaux circulant dans les anciens travaux miniers.

Cependant, en dehors de la période des basses eaux, on peut supposer que des émergences temporaires peuvent apparaître. Suite à une circulation dans les travaux miniers, la qualité des eaux superficielles des cours d'eau peut alors être modifiée en aval des travaux miniers des titres étudiés.

Les eaux contenues dans les travaux miniers de lignite se caractérisent par des teneurs potentiellement élevées en sulfates et fer, avec présence également de manganèse et de métaux lourds et métalloïdes (arsenic et zinc essentiellement). Si les teneurs en métaux lourds et métalloïdes sont rarement élevées, les teneurs en sulfates et fer peuvent être significatives. Les eaux peuvent être impropres à la consommation et affecter faiblement les potentialités du milieu récepteur. L'intensité correspondante sera limitée. L'objectif dans le cadre de l'étude pré PPRM est de cartographier les linéaires de cours d'eau prédisposés à présenter ce niveau d'intensité de pollution faible. Le paramètre qui nous servira est la teneur en sulfates. Cet élément sera considéré comme traceur parfait, ce qui permettra par calcul de dilution simplifié d'évaluer les zones potentiellement impactées par un rejet minier. Les analyses effectuées dans la Cesse montrent une teneur naturelle de l'ordre de 40 mg/l de sulfates. Si l'on considère une teneur de 2000 mg/l de sulfates dans l'eau de mine (ce qui est sécuritaire), une dilution par un facteur 40 permet de revenir à une teneur de l'ordre de 50 mg/l, similaire aux mesures effectuées dans le milieu naturel. Afin de cartographier le linéaire de cours d'eau susceptible d'être impactés par un éventuel trop plein des travaux miniers, il est nécessaire d'évaluer la surface de bassin versant naturel suffisante pour obtenir cette dilution par 40. Pour ce faire, nous considérerons que les travaux miniers produisent en débit 5 fois plus que le milieu récepteur. Ceci permet de prendre en compte un effet retard des travaux par rapport au ruissellement et de traduire pour certaines configurations d'écoulement l'impact potentiel d'une source sur un milieu peu réalimenté.

Ceci nous amène donc à cartographier en **aléa faible** les linéaires de cours d'eau situés à l'aval hydrologique de travaux miniers jusqu'à un ratio (surface bassin versant naturel/surface exploitée) de 200 (40 x 5).

Au-delà, l'aléa est considéré comme négligeable. Par conséquent, les mines des Charbonnières et de la route d'Agel ne sont pas concernées par cet aléa.

L'aléa pollution des eaux superficielles relatif à la mine de Belvèze a été écarté car aucun écoulement superficiel connu n'a été identifié dans ce secteur exploité.

La cartographie de l'aléa pollution des eaux superficielles est reportée sur la carte 4.

6.2 ALEA POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES

Pour les eaux souterraines, le manque de connaissance du milieu environnant et l'absence de données ne permet pas une cartographie précise. On sait que les travaux peuvent contenir des eaux présentant des anomalies (en fer et sulfates particulièrement) susceptibles de les rendre impropres à certains usages [1][2] et qu'à proximité de la zone étudiée, des forages de caractérisation de l'aquifère dans la formation de lignite ont montré des minéralisations élevées liées à la présence de sulfates.

Afin de conserver en mémoire la présence des travaux, dans l'optique de futures recherches en eau potable, il a été retenu **un aléa pollution des eaux souterraines, de niveau faible, au droit des travaux miniers souterrains.**

Nous attirons l'attention sur le fait que la réalisation de forages à proximité des travaux est susceptible de modifier l'équilibre actuel et pourrait se traduire par une contamination au moins temporaire des forages (fer, sulfates essentiellement).

A l'emprise des travaux souterrains, nous avons ajouté une auréole liée à la zone d'influence de ces travaux, qui sera identique à celle prise lors de l'aléa affaissement et tassement en incluant toutefois les galeries isolées (avec leur incertitude de positionnement). La cartographie de l'aléa pollution des eaux souterraines est reportée sur la carte 4.

7. CONCLUSION

La présente analyse a conduit à la définition et à l'évaluation des aléas « mouvements de terrains », « émission de gaz de mine », « pollution des eaux superficielles » et « pollution des eaux souterraines » liés aux exploitations souterraines des titres miniers du bassin du Minervois : Bize, Mailhac et Pouzols Sainte-Valière et le PEX de la Roueyre. L'aléa échauffement sur les terrils a été écarté.

L'ensemble des documents disponibles (archives écrites, plans) et les résultats des investigations de terrain ont été synthétisés dans le rapport référencé INERIS-DRS-06-77686/R01 [1]. Cette synthèse a permis d'établir plusieurs cartes informatives indiquant l'essentiel des informations nécessaires à l'évaluation des aléas.

Six phénomènes principaux ont été retenus sur le site. Ils ont donné lieu à la réalisation de cartes d'aléa spécifiques (cartes 1 à 4).

Le phénomène d'effondrement localisé. Il résulte de plusieurs mécanismes :

- la rupture des anciens travaux (toit des vides) situés à faible profondeur (moins de 30 m pour les exploitations en plateure et moins de 50 m pour les exploitations pentées). Justifié par des cas d'effondrements connus sur le site, par le possible débouillage des remblais dans les travaux pentés et par la nature des terrains de recouvrement (grès, marne), un aléa moyen a été retenu à l'aplomb des travaux exploités par tailles ou défilage où un vide résiduel est possible ;
- la rupture de puits ou de cheminée d'aération par éboulement des terrains. Quelques ouvrages débouchant au jour ont été traités mais de façon non pérenne (dalles ou comblement par remblayage). Un aléa moyen a donc été retenu pour les puits ou cheminées non traités et un aléa faible pour les puits mis récemment en sécurité ;
- l'éboulement de galeries isolées proches de la surface (à moins de 30 m). Un aléa moyen a été retenu à l'aplomb des quelques galeries isolées et faible pour les ouvrages proches des affleurements où des grattages sont supposés. Les retours d'expérience de fontis ont permis de justifier le niveau d'aléa retenu.

Le phénomène d'affaissement

Un niveau d'aléa faible a été retenu à l'aplomb des travaux souterrains pentés (pendage supérieur à 25°) et de leur zone d'influence.

Le phénomène de tassement

Un niveau d'aléa faible a été retenu à l'aplomb des galeries situées entre 30 et 50 m de profondeur, là où un fontis s'autocomblerait avant d'arriver en surface.

Compte tenu de la méthode d'exploitation utilisée sur la majorité des titres miniers étudiés (tailles remblayées), un niveau d'aléa faible a été retenu à l'aplomb des travaux souterrains en plateure (pendage inférieur à 25°) et de leur zone d'influence.

Au droit des puits et des fontis, remblayés ou non retrouvés, un aléa tassement de niveau faible est possible par recompaction des matériaux de remblai. Une reprise

d'affaissement liée à des surcharges pourra entraîner un tassement de niveau faible au droit des anciens affaissements observés à la Roueyre.

Dans le cas des terrils, nous avons considéré que les matériaux constitutifs pouvaient être sensibles au phénomène de tassement et nous avons cartographié, sur l'emprise de ces dépôts, un aléa tassement faible.

L'émission de gaz de mine

L'examen des documents en notre possession a permis de mettre en évidence que les mines de lignite du bassin du Minervois n'étaient pas grisouteuses.

Toutefois, la présence de feux souterrains, pendant les périodes d'exploitation, témoigne de la facilité du lignite du bassin du Minervois à s'oxyder et à prendre spontanément feu en présence d'air. Ces conditions prédisposent le site à la présence, au sein des travaux, d'atmosphère désoxygénée et/ou chargée en gaz nocif. Le lignite du gisement du Bois d'Asson (Lubéron), ayant globalement les mêmes caractéristiques, présente un exemple de point d'échauffement actif avec un dégagement en surface d'un mélange gazeux (produits de combustion, hydrocarbures, hydrogène, produits soufrés toxiques...). Cependant, aucun signe visible d'un échauffement actif récent en surface n'a été repéré ou mentionné lors de l'enquête sur le terrain pour le bassin du Minervois dans l'Aude.

Une partie des travaux reste hors d'eau ou est partiellement ennoyée. Par conséquent, il subsiste encore des vides miniers résiduels superficiels non ennoyés. Ces vides résiduels sont susceptibles de contenir du gaz de mine. Selon les informations disponibles, ce gaz de mine peut éventuellement avoir une composition qui entraînerait des risques d'asphyxie ou d'intoxication. Il ne présente a priori pas de risque d'inflammation.

L'aléa «émission de gaz de mine » a été évalué comme moyen au droit de tous les ouvrages ou orifices (puits, entrées de galerie, désordres) reliant la surface à des travaux souterrains étendus et non noyés et faible au droit des travaux non ennoyés.

La pollution des eaux superficielles

La campagne de mesure au droit de points d'eau proches des travaux miniers étudiés n'a pas mis en évidence d'impact significatif sur les eaux superficielles lié aux eaux d'exhaure des anciennes mines. Toutefois, cette campagne n'a pu être réalisée que sur le cours d'eau principal (la Cesse), tous les autres ruisseaux affluents étant à sec plusieurs mois dans l'année. Par mesures de précaution, nous avons choisi de qualifier de faible l'impact des exploitations minières du bassin du Minervois sur les cours d'eau situés à l'aval hydrologique des travaux jusqu'à un ratio (surface bassin versant naturel/surface exploitée) de 200.

La pollution des eaux souterraines

A proximité de la zone étudiée, des forages de caractérisation de l'aquifère dans la formation de lignite ont montré des minéralisations élevées liées à la présence de sulfates. De ce fait, il a été retenu un aléa faible au droit de l'ensemble des travaux miniers souterrains et de leur zone d'influence.

8. BIBLIOGRAPHIE

- [1]. G. GOUILLON, C. LAMBERT – Bassin de lignite du Minervois (Aude). Concessions de Bize, Mailhac et Pouzols - Sainte-Valière. Contribution à la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers. Phase informative – Rapport INERIS DRS-06-77686/R01 – 23 novembre 2006.

- [2]. M. YVROUX, Aquifère karstique de Pouzols-Minervois / Système karstique Cesse-Pouzols / Synthèse hydrogéologique et données nouvelles, service hydrogéologie du Conseil Général de l'Aude, 17 septembre 2001.

- [3]. L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers. Guide méthodologique. Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa. Les risques mouvements de terrain, d'inondations et d'émissions de gaz de mine. Contribution de divers organismes (INERIS, BRGM, GEODERIS, ENSMP, IRSN, CSTB) sous la direction de l'INERIS. Rapport INERIS DRS-06-51198/R01, 4 mai 2006.

9. LISTE DES ANNEXE ET CARTES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Evaluation et cartographie de l'aléa	26 A4
Carte 1	Carte d'aléa effondrement localisé – Concessions de Bize, Mailhac et Pouzols Sainte-Valière et Permis d'Exploitation de la Roueyre	Hors texte
Carte 2	Carte des aléas affaissement et tassement – Concessions de Bize, Mailhac et Pouzols Sainte-Valière et Permis d'Exploitation de la Roueyre	Hors texte
Carte 3	Carte d'aléa émission de gaz de mine – Concessions de Bize, Mailhac et Pouzols Sainte-Valière et Permis d'Exploitation de la Roueyre	Hors texte
Carte 4	Carte des aléas pollution des eaux superficielles et souterraines – Concessions de Bize, Mailhac et Pouzols Sainte-Valière et Permis d'Exploitation de la Roueyre	Hors texte

ANNEXE 1

Evaluation et cartographie des aléas

Sommaire

1. Méthode d'évaluation des aléas	1
1.1 <i>Principe.....</i>	<i>1</i>
1.2 <i>Qualification de l'intensité.....</i>	<i>1</i>
1.3 <i>Qualification de la probabilité d'occurrence.....</i>	<i>1</i>
1.4 <i>Qualification de l'aléa.....</i>	<i>2</i>
2. Description et évaluation des aléas « mouvements de terrain »	3
2.1 <i>Les effondrements généralisés</i>	<i>3</i>
2.2 <i>Les effondrements localisés.....</i>	<i>6</i>
2.3 <i>Les affaissements.....</i>	<i>10</i>
2.4 <i>Les tassements.....</i>	<i>15</i>
2.5 <i>Les glissements.....</i>	<i>17</i>
3. Description et évaluation de l'aléa « émission de gaz en surface ».....	21
4. Zonage et cartographie des aléas.....	25
4.1 <i>Cartographie de l'aléa mouvements de terrain.....</i>	<i>25</i>
4.2 <i>Cartographie de l'aléa émission de gaz de mine.....</i>	<i>25</i>

1. METHODE D'EVALUATION DES ALEAS

1.1 PRINCIPE

L'évaluation de l'aléa « mouvements de terrain » résultant de la présence de cavités souterraines a pour but d'identifier les zones susceptibles de mettre en péril, à terme, les personnes et les biens exposés en surface afin de les prendre en compte dans l'aménagement du territoire.

A partir des instabilités connues ou prévisibles, établies en fonction des configurations de site et d'exploitation, de leur évolution possible et des différents phénomènes accidentels attendus, on en déduit les « *aléas de référence* » correspondants. L'évaluation de ces aléas résultent classiquement du croisement de l'intensité ou de la gravité du phénomène redouté (dommages matériels ou de pertes humaines et des possibilité d'y remédier) par la probabilité d'occurrence qui lui est associée.

La notion d'aléa de référence est utilisée ici en se plaçant dans une optique d'analyse à long terme. En effet, l'aléa de référence est défini comme « *le plus fort événement historique connu dans le site, sauf si une analyse spécifique conduit à considérer comme vraisemblable à échelle centennale, ou plus en cas de danger humain, un événement de plus grande ampleur* ».

1.2 QUALIFICATION DE L'INTENSITE

L'intensité de chaque aléa peut être hiérarchisée en plusieurs niveaux à partir de critères tels que l'importance des dégâts, séquelles ou nuisances prévisibles pour un phénomène donné en se basant sur les observations et données fournies par l'analyse informative et les retours d'expérience. Cette notion intègre à la fois une hiérarchisation des grandeurs caractérisant les désordres mais également leur potentiel de gravité sur les personnes ou les biens et/ou le coût de parades de prévention. Des exemples de qualification de l'intensité sont donnés dans ce document.

De manière à hiérarchiser les dégâts ou nuisances potentielles en cas de survenance du désordre, il est classique de définir l'intensité en trois classes (*limitée, modérée et élevée*), dont on s'attachera à définir le contenu en fonction de la nature des mécanismes et phénomènes attendus sur le site.

1.3 QUALIFICATION DE LA PROBABILITE D'OCCURRENCE

A chaque aléa doit être également rattaché une « probabilité d'occurrence », ce qui n'est pas sans poser des difficultés dans la prévision des mouvements de terrains, phénomènes non périodiques (contrairement aux séismes ou aux inondations) qui font presque toujours appel à des approches de prévision déterministes.

La notion de probabilité d'occurrence est appréhendée par le concept de « prédisposition du site » vis-à-vis d'un type donné d'instabilité. Des critères, si possible paramétriques, témoignant de la « sensibilité » ou de « l'activité » du phénomène redouté sont donc établis en fonction de la configuration étudiée. L'analyse de la fréquence des événements passés (« retour d'expérience ») fait, naturellement, partie intégrante de la démarche.

Par ailleurs, il n'est pas rare de ne pas connaître avec certitude l'existence ou la localisation de vides miniers et de ne pas disposer des données nécessaires à la détermination de l'extension précise des désordres ou nuisances possibles. On est alors régulièrement amené à gérer le manque d'informations disponibles par la notion de « présomption » en distinguant les zones où le phénomène redouté est seulement suspecté des zones pour lesquelles le risque est avéré.

La démarche doit être mise en œuvre pour chaque type de phénomène qui se voit attribuer une sensibilité spécifique. Il est d'usage de définir trois classes de prédisposition (*peu sensible, sensible et très sensible*) dont on s'attachera à définir le contenu en fonction de la nature des mécanismes et phénomènes attendus sur le site.

1.4 QUALIFICATION DE L'ALEA

La hiérarchisation de 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, à cette fin, une matrice de synthèse dont les principes de constitution sont illustrés dans le tableau suivant, en précisant que chaque site peut donner lieu à des ajustements pour s'adapter à un contexte spécifique.

Classiquement on se limite à trois classes d'aléas : *faible, moyen et fort*.

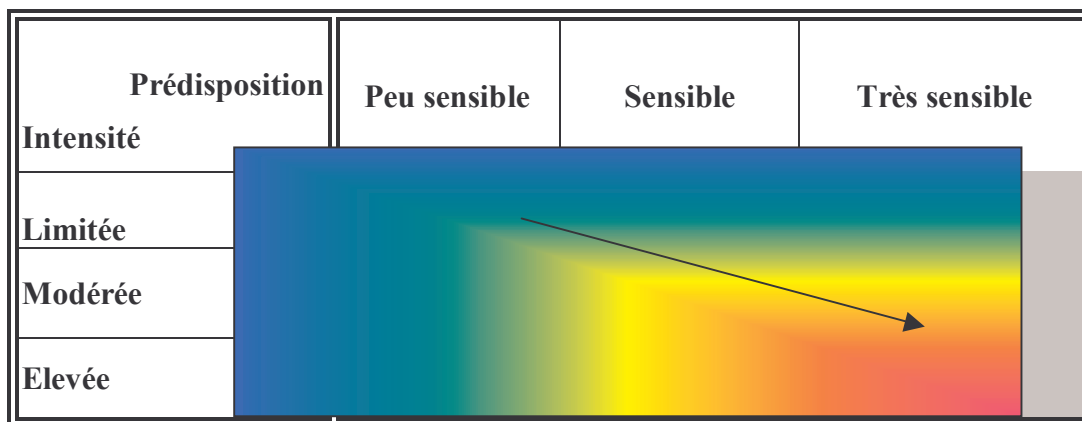


Tableau 1 : Qualification de l'aléa en fonction de l'intensité et de la prédisposition

2. DESCRIPTION ET EVALUATION DES ALEAS « MOUVEMENTS DE TERRAIN »

2.1 LES EFFONDREMENTS GENERALISES

Les effondrements généralisés sont exclusivement liés aux exploitations partielles, proches de la surface ou plus profondes, comme, par exemple, les exploitations par chambres et piliers abandonnés.

Définition et effets en surface

Les effondrements généralisés, également appelés effondrements en masse, se manifestent par la rupture spontanée ou par saccades, de tout ou partie d'une exploitation, en affectant la stabilité de la surface sur des étendues pouvant atteindre plusieurs hectares. La hauteur d'effondrement affectant la partie centrale est sensiblement proportionnelle à l'ouverture exploitée et au taux de défrètement¹ et peut atteindre plusieurs mètres. Cette zone centrale est bordée par des fractures franches, ouvertes et sub-verticales, délimitant des « marches d'escalier ». Les conséquences peuvent, ainsi, s'avérer très dommageables pour les personnes et les biens situés en surface.

Ils traduisent une instabilité d'ensemble de l'exploitation résultant généralement d'une extraction trop intensive. Ce sont des phénomènes heureusement très rares mais dont les conséquences sont potentiellement graves par la brutalité de leur caractère. Ils peuvent ainsi s'accompagner de secousses sismiques, parfois détectables à des centaines de kilomètres du secteur concerné. Ils produisent également un effet de souffle susceptible de projeter, sur de grandes distances, des matériaux par les galeries et les puits ouverts et de mettre en péril les personnes et installations se trouvant à proximité.

Les effondrements généralisés peuvent affecter des exploitations profondes comparativement aux effondrements localisés. Leur développement exige également une extension horizontale des travaux suffisante au regard de leur profondeur.

Mécanismes initiateurs

L'effondrement brutal de piliers abandonnés résultant d'une rupture du toit

Les effondrements brutaux exigent une combinaison de critères défavorables à la stabilité d'ensemble qui repose sur une rupture simultanée des piliers et des terrains de recouvrement. Deux conditions sont généralement requises.

- une configuration d'exploitation « fragile » : l'existence de vides importants et la présence de structures peu robustes (piliers sous-dimensionnés, présentant un fort élancement², exploitation à plusieurs niveaux avec une mauvaise superposition des piliers) sont autant de paramètres de prédisposition favorables à une rupture en masse des cavités.

¹ Désigné également de taux d'exploitation

² Rapport de la hauteur à la largeur du pilier

- une concomitance de la rupture des piliers et de celle des terrains de recouvrement : ce phénomène se développe préférentiellement en présence d'un (ou plusieurs) horizon(s) raide(s) dans le recouvrement. Cette raideur , permet de reporter, en tout ou partie, la charge des terrains de surface sur les bords fermes, ce qui soulage (temporairement) les piliers et autorise, indirectement, une exploitation excessive avec un sous-dimensionnement des piliers.

Sous l'effet du temps ou d'une sollicitation différée, les bancs raides du toit peuvent atteindre leur limite élastique et se rompre brutalement. La rupture du toit, par flexion ou cisaillement, le long des bords fermes transmet une surcharge soudaine aux piliers qui se retrouvent brutalement soumis à l'intégralité du poids du recouvrement. Les piliers, très fragiles, se rompent alors de manière simultanée en entraînant le recouvrement dans un mouvement brutal et spontané.

Rupture en chaîne des piliers

La déstabilisation d'un grand nombre de piliers ne se traduit pas inéluctablement par un effondrement brutal accompagné d'une secousse vibratoire importante. L'instabilité peut résulter d'une rupture progressive « en chaîne » des piliers adjacents.

Ce type de manifestation, exige que les piliers aient, dans leur grande majorité, atteint un « état-limite » de stabilité (proche de la ruine). L'évolution d'un facteur déclenchant (eau, altération, vieillissement, surcharge, etc.) peut alors suffire à initier la rupture d'une partie des piliers. En se ruinant, ces derniers induisent un report de charge sur les piliers voisins qui se rompent, à leur tour. Le recouvrement s'effondre alors en suivant le front de rupture souterrain. Le phénomène n'est pas aussi violent que celui décrit ci-dessus mais la cinétique de l'effondrement (quelques minutes à quelques heures) suffit à le rendre potentiellement dangereux pour les personnes et les biens situés dans son emprise lorsque l'amplitude des mouvements prévus en surface est importante.

Qualification de l'intensité

L'effondrement généralisé caractérise un mouvement d'extension spatiale importante et dont l'occurrence, quelle que soit l'amplitude de la descente des terrains de surface (directement reliée à l'ouverture des travaux et au taux de défrètement des chantiers), peut mettre en péril la sécurité des personnes et des biens situés dans l'emprise de l'instabilité.

Il n'y a donc pas lieu de définir une grandeur de référence pour caractériser l'intensité de ce type de désordre, la classe d'intensité étant, systématiquement, élevée à très élevée, du fait également de l'absence de parades « légères » permettant de s'affranchir des conséquences prévisibles d'un tel phénomène en surface.

Classe d'intensité	Description
Elevée à très élevée	Effondrement en masse de la surface

Tableau 2 : Classes d'intensité de l'aléa « effondrement généralisé »

Qualification de la probabilité d'occurrence

a) Critères de prédisposition communs

Quel que soit le contexte d'exploitation, l'existence d'anciens mouvements de type effondrement généralisé (encore visibles en surface ou décrits dans les archives) contribue souvent à augmenter la prédisposition qu'un site présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation voisines puisse subir, à l'avenir, d'autres phénomènes sensiblement similaires.

b) Cas des exploitations menées par chambres et piliers abandonnés

La prédisposition d'anciennes exploitations menées par chambres et piliers abandonnés au développement d'un effondrement généralisé dépend de la combinaison de deux prédispositions : la rupture de l'ouvrage souterrain et la rupture des terrains de recouvrement.

Prédisposition de l'ouvrage souterrain à la rupture

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

- des contraintes s'exerçant au sein des piliers (tributaires notamment du taux de défruitement, de la profondeur des travaux et des conditions d'exploitation des secteurs adjacents à la zone considérée) : « état-limite » de stabilité ;
- d'une configuration d'exploitation fragile favorable à une rupture en masse des piliers (piliers de fort élancement, matériaux fragiles, mauvaises superposition des piliers, etc.) ;
- de l'absence de gros piliers faisant « piliers barrières » susceptibles de bloquer la propagation d'un front d'effondrement ;
- d'autres facteurs tels que la sensibilité des matériaux à l'eau, le comportement du mur (risque de poinçonnement, la présence de failles, etc.).

Prédisposition des terrains de recouvrement à une rupture dynamique

Parmi les principaux facteurs qui vont, en cas de rupture de l'ouvrage souterrain, prédisposer un site à subir un effondrement dynamique et non un affaissement progressif des terrains de surface, on peut citer :

- une extension latérale d'exploitation suffisante au regard de l'épaisseur de recouvrement ;
- la présence d'un (ou de) banc(s) raide(s) au sein du recouvrement susceptible de se rompre de manière dynamique, entraînant dans sa ruine la rupture en masse des piliers sous-jacents (on parlera alors d'effondrement brutal) ;
- l'existence d'un toit ni trop souple ni trop raide, autorisant l'effondrement par séquences, (on parlera alors de rupture en chaîne des piliers) ;
- une profondeur pas trop grande (il est en effet difficile d'imaginer que des travaux situés à des profondeurs supérieures à 500 mètres par exemple puissent provoquer une rupture dynamique de l'ensemble des terrains de recouvrement).

2.2 LES EFFONDREMENTS LOCALISES

Les effondrements localisés sont essentiellement liés aux exploitations partielles, proches de la surface, qu'il s'agisse d'exploitations par chambres et piliers abandonnés, de galeries filantes ou d'exploitations pentées, ainsi qu'aux ouvrages d'infrastructure tels que les puits, les descenderies ou les galeries isolées situées à faible profondeur. Ils peuvent survenir également dans les exploitations dites « totales » si des vides suffisamment importants ont pu subsister.

Définition et effets en surface

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 mais il n'est pas rare qu'elle atteigne une dizaine de mètres même si, dans la majorité des cas, elle se limite à quelques mètres. Dans le cas de gisements pentés, l'effondrement peut prendre la forme d'une gouttière ou d'une tranchée allongée dans la direction du plan de la veine.

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

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

Mécanismes initiateurs

a) Effondrement par éboulement de toit ou d'une voûte de galerie: le phénomène de fontis

On parle de « fontis » lorsque le désordre qui affecte la surface résulte de la remontée au jour d'un éboulement initié au sein d'une excavation souterraine (galerie, chambre d'exploitation, etc.). Lorsque la voûte initiée par la rupture du toit de l'excavation ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs résistants et 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 « autocomblement », la voûte peut atteindre la surface du sol.

L'apparition de ce type de désordre en surface ne concerne que les travaux peu profonds. Les retours d'expérience menés 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 (dans des gammes d'ouvertures classiques : 2 à 4 ou 5 m) n'étaient plus susceptibles de provoquer ce phénomène en surface.

b) 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 localisé lorsque la profondeur des travaux et la résistance des terrains du recouvrement ne sont pas suffisamment importantes.

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 tant de la géométrie de l'exploitation que 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 de paramètres géologiques (zones fracturées ou faillées, venues d'eau, etc.).

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

c) Effondrement par débouillage de puits ou rupture de la tête de puits

Un ancien puits d'exploitation, mal traité (au niveau des recettes) ou mal remblayé (à l'aide de matériaux qui peuvent être remobilisés, notamment en présence d'eau), peut débouiller, 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 débouillage 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 de l'épaisseur et des caractéristiques géologiques et mécaniques locales des terrains.

Par ailleurs, si la tête d'un puits non remblayé est foncée dans des terrains de moindre résistance ou meubles (remblais, sols, roche altérée, etc.), la rupture du cuvelage ou du dispositif de fermeture sous-dimensionné peut entraîner la migration de ces matériaux dans la colonne de puits.

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). Des effondrements de diamètre beaucoup plus grands sont tout à fait exceptionnels et correspondent généralement à la présence de sables bouillants proches de la surface.

Les travaux de traitement réalisés pour la mise en sécurité peuvent être un critère permettant de diminuer de façon substantielle, voire éradiquer, la prédisposition au débouillage ou à la rupture de la tête du puits. Par exemple, un bouchon autoportant réalisé en tête de puits, conformément à l'état de l'art, paraît être une solution efficace et suffisamment pérenne. En revanche s'il reste ouvert et est simplement recouvert d'une dalle bétonnée, la stabilité du puits n'est pas garantie contre les risques de rupture du cuvelage et des bords susceptibles de s'opérer à long terme par altération ou vieillissement (surtout si la largeur de la dalle est insuffisante).

d) Débourrage d'un chantier penté remblayé

Ce mécanisme, susceptible d'affecter les couches fortement pentées (filons, couches en dressant), est assez similaire à celui d'un déboufrage de puits. Lorsque l'exploitation s'est développée jusqu'en surface et a donné lieu à un remblayage des vides, la rupture d'un barrage d'arrêt souterrain peut induire un déboufrage des produits de comblement vers des vides plus profonds. Cet écoulement induit un effondrement en surface dont la forme et les dimensions dépendent directement des conditions d'exploitation.

e) Combustion

Dans certaines configurations très spécifiques, la combustion de matières carbonées présentes au sein de travaux souterrains ou d'ouvrages de dépôt d'anciennes mines de combustibles solides, peut générer la formation de petites cavités proches de la surface susceptibles de s'effondrer. Dans un tel scénario, les conséquences potentielles sur les victimes sont aggravées du fait de la température des terrains incandescents ou des vapeurs émises (pouvant atteindre plusieurs centaines de degrés).

Qualification de l'intensité

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

C'est principalement le *diamètre de l'effondrement* qui va influencer sur les conséquences du phénomène vis-à-vis de la sécurité des personnes et des biens présents dans la zone d'influence du désordre. C'est donc ce paramètre que nous retenons comme grandeur représentative. La profondeur du cratère influence sur la dangerosité du phénomène mais, souvent délicate à prévoir, notamment pour ce qui concerne les fontis et les débouffrages de puits, elle n'est pas retenue a priori.

Parmi les principaux facteurs susceptibles d'influer sur la grandeur du diamètre de l'effondrement, on retient : la dimension des vides résiduels au sein des travaux souterrains (volume) ainsi que l'épaisseur et la nature des terrains constituant le recouvrement dont le rôle est prépondérant sur les dimensions de l'entonnoir d'effondrement en surface.

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement Ø
Limitée	Ø < 3 m
Modérée	3 m < Ø < 10 m
Elevée	Ø > 10 m

*Tableau 3 : Classes d'intensité de l'aléa « effondrement localisé »
(valeurs purement indicatives)*

Qualification de la probabilité d'occurrence

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

- l'existence d'anciens mouvements de type « effondrement localisé », encore visibles en surface ou décrits dans les archives ou encore leur survenance sur un site présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation similaires ;
- la présence de terrains déconsolidés en surface, notamment sur une grande épaisseur ;
- la profondeur des travaux.

Les principaux facteurs de prédisposition spécifiques à certaines configurations de travaux sont les suivants :

a) Eboulement de toit d'une chambre ou d'une voûte de galerie isolée

La prédisposition d'un site au développement d'un fontis à l'aplomb dépend de la combinaison de deux processus : la rupture de l'ouvrage souterrain en lui-même et la remontée de l'instabilité jusqu'en surface.

Facteurs de prédisposition à la rupture de l'ouvrage souterrain :

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

Facteurs de prédisposition du recouvrement conditionnant la remontée de fontis en surface :

- facteurs favorisant la stabilisation du phénomène par formation d'une voûte stable : présence de bancs homogènes suffisamment épais et résistants (par exemple : présence et surtout épaisseur des terrains jurassiques recouvrant les terrains primaires) ;
- concernant la stabilisation du phénomène par autocomblement : volume des vides résiduels disponibles au sein des vieux travaux, nature des terrains de recouvrement (épaisseur, comportement et coefficient de foisonnement).

Concernant les galeries minières isolées de dimensions classiques (entre 2 et 3 m d'ouverture), le retour d'expérience semble montrer qu'au-delà d'une profondeur d'une cinquantaine de mètres, la probabilité de remontée de fontis jusqu'en surface devient négligeable.

b) Effondrement par rupture de pilier(s) isolé(s)

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, etc.).

c) Rupture de tête de puits ou débouillage de remblais

Les facteurs identifiés dépendent des deux mécanismes d'instabilité qui peuvent affecter une ancienne tête de puits :

- effondrement de la structure mise en place en tête d'un puits vide (cuvelage, plancher, voûte en briques, dalle, bouchon, etc) : caractéristiques de cette structure, altérabilité dans le temps, nature du cuvelage, nature résistance des terrains encaissants ;
- débouillage d'un puits remblayé : conditions hydrogéologiques (remontée des eaux, battements de nappe), présence de galeries connectées au puits et non obturées par des serrements, ancienneté du remblayage, facteurs défavorables (vibrations, surcharges, variations du niveau de la nappe, etc.).

d) Risque de rupture d'un stot de protection ou d'une tête de filon (gisement penté)

Les facteurs qui gouvernent la prédisposition d'un stot de protection ou d'une tête de filon à subir des effondrements localisés par éboulement de la couronne sont principalement de deux ordres :

- dimensions et résistance des stots (épaisseur, présence d'extraction à ciel ouvert en sub-surface, degré d'altération, présence de failles ou d'accidents tectoniques, etc.) ;
- caractéristiques du gisement (pendage, nature des terrains encaissants, interfaces entre le filon et les épontes, etc.).

2.3 LES AFFAISSEMENTS

Les phénomènes d'affaissement sont principalement liés aux exploitations totales en plateau, menées à grande profondeur et présentant des extensions horizontales importantes, qu'il s'agisse d'exploitations par tailles foudroyées ou remblayées (plus ou moins partiellement), mais aussi d'exploitations partielles ou pentées (ou éventuellement filoniennes) ayant laissé des vides résiduels importants après extraction.

Définition et effets en surface

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

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

Généralement, ce ne sont pas tant les déplacements verticaux qui affectent les bâtiments et infrastructures de surface, que les déformations du sol (déplacements différentiels horizontaux, flexions, mise en pente, etc.). 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).

Comme la plupart des autres phénomènes d'instabilité, les affaissements miniers ne se limitent pas au strict aplomb des contours de travaux souterrains. La limite extérieure de la cuvette d'affaissement en surface est déterminée par l'angle (« angle d'influence ») défini en profondeur par la droite verticale correspondant à la bordure souterraine de l'exploitation et la droite virtuelle matérialisant en surface le point où l'affaissement est considéré comme nul ou négligeable. En fonction de la nature, de l'épaisseur des terrains de recouvrement et de la présence d'accidents géologiques, l'angle d'influence varie classiquement entre une dizaine et une quarantaine de degrés en plateure. 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).

Plus les travaux miniers sont profonds, plus la cuvette d'affaissement est étendue et étalée en surface. Toutes choses égales par ailleurs, les affaissements verticaux et les déplacements horizontaux diminuent aussi avec la profondeur d'exploitation.

Mécanismes initiateurs

a) Cas des exploitations en plateure (pendage < 20°)

Toute exploitation par tailles ou par dépilage, quelle qu'en soit la profondeur, induit un éboulement ou foudroyage 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 plus ou moins importants 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 processus 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 affaissement étant directement proportionnel à l'ouverture des travaux, il n'est pas rare, durant la période d'exploitation, que les terrains de surface soient descendus de plusieurs mètres, voire, plus exceptionnellement, de plusieurs dizaines 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. Les déformations résiduelles induites après l'exploitation sont, en général, très limitées et les conséquences sur infrastructures de surface négligeables à nulles.

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 loin.

b) Cas des exploitations en gisements pentés (sédimentaires ou filoniens)

Les exploitations en couche pentée se caractérisent par une dissymétrie de la cuvette d'affaissement plus ou moins importante en fonction du pendage. L'existence d'un pendage influe, en effet, directement sur les valeurs des angles d'influence en amont et en aval (schéma ci-dessous).

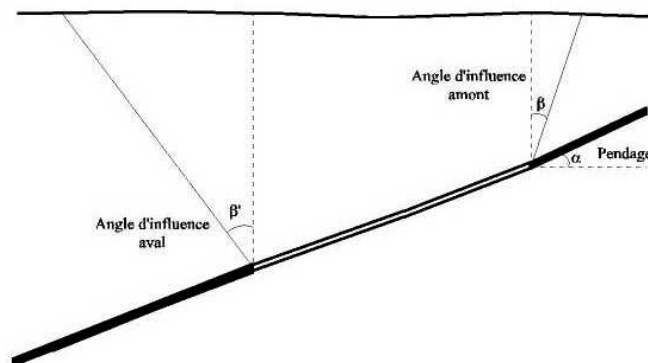


Schéma montrant la dissymétrie des angles d'influence amont et aval en gisement penté

Quand la profondeur d'exploitation devient importante, l'influence de l'angle aval se traduit généralement par une large extension de la cuvette d'affaissement mais, en contrepartie, par des amplitudes d'affaissement vertical et des déplacements différentiels horizontaux plus faibles. En revanche, coté amont les déplacements augmentent sensiblement.

Notons, par ailleurs, que contrairement aux exploitations totales par tailles foudroyées ou dépilage, l'occurrence d'affaissements à l'aplomb d'exploitations par chambres et piliers abandonnés ou par chambres laissées vides (telles que les chambres magasins) dépend directement de la rupture des cavités (éboulement). Des phénomènes d'affaissement peuvent alors être initiés plusieurs années ou décennies après la fermeture des travaux si les structures souterraines sont suffisamment résistantes pour demeurer stables jusqu'à ce terme.

c) Cas des ouvrages en combustion

L'échauffement accidentel ou l'auto-échauffement de la matière organique persistant au sein d'anciens travaux souterrains ou d'ouvrages de dépôt peut initier la combustion du minerai dans le cas des mines de combustibles solides (charbon, lignite, schistes bitumineux...).

Cette combustion induit la « disparition » de matériau et, de fait, l'apparition possible d'affaissements en surface. La lenteur du mécanisme et les volumes généralement limités de vide créés expliquent que les manifestations en surface se traduisant, à quelques exceptions près, par la création de cuvettes d'affaissements peu importantes, tant en terme d'amplitude des mouvements verticaux qu'en terme de superficie des cuvettes.

Ces affaissements limités peuvent s'observer aussi bien en surface des verses ou terrils en combustion qu'à l'aplomb d'anciens travaux souterrains soumis au phénomène de combustion spontanée. En sus des mouvements de terrain au sens strict, d'autres types de risques ou nuisances, bien plus critiques, peuvent affecter les personnes et biens environnants (incendies, accumulation de gaz toxiques), ou être à l'origine de sur-accidents (proximité de conduites de gaz, présence d'anciennes munitions enfouies au sein du dépôt ...).

Qualification de l'intensité

Les caractéristiques qui matérialisent les dégâts les plus dommageables pour les biens situés en surface dus aux phénomènes d'affaissement progressif, sont généralement les déformations différentielles horizontales et surtout les mouvements de mise en pente du sol. Nous retiendrons donc ces deux paramètres pour discriminer les classes d'intensité.

La définition des classes d'intensité s'appuie alors principalement sur la notion d'effets prévisibles sur les structures même si, au-delà de certaines valeurs de déformations, les désordres infligés aux bâtiments peuvent s'avérer de nature à mettre en péril la sécurité des personnes qui y résident.

Les principaux facteurs susceptibles d'influencer la valeur de ces deux paramètres sont essentiellement :

- la géométrie des travaux (largeur exploitée des panneaux) ;
- l'ouverture des chantiers souterrains (tailles) ;
- la méthode d'exploitation (taux de défrètement, etc.) ;
- le pendage des couches (au delà de 20° ou 30°) ;
- la profondeur des panneaux ;
- la nature des terrains de recouvrement, la présence de failles, la topographie de surface, etc.

Classe d'intensité	Déformations différentielles horizontales ε (en mm/m)	Mise en pente ε (en %)
Limitée	$0 < \varepsilon < 10$	$0 < \varepsilon < 2$
Modérée	$10 < \varepsilon < 30$	$2 < \varepsilon < 6$
Elevée	$\varepsilon > 30$	$\varepsilon > 6$

*Tableau 4 : Classes d'intensité de l'aléa « affaissement »
(valeurs purement indicatives)*

Qualification de la probabilité d'occurrence

Quel que soit le contexte d'exploitation, l'existence d'anciens mouvements de type « affaissement progressif » (encore visibles en surface ou décrits dans les archives) contribue souvent à augmenter la prédisposition qu'un site présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation voisines puisse subir, à l'avenir, d'autres phénomènes sensiblement similaires (retroanalyse).

a) Exploitations menées par foudroyage

A l'aplomb d'anciennes exploitations totales foudroyées, il est admis que la phase d'affaissement résiduel perceptible en surface se limite aux quelques années suivant l'arrêt des travaux (de l'ordre de 5 ans, au maximum pour les mines de charbon ou de fer, à l'exception des mines de sel). Si cet arrêt est récent (moins de 5 ans pour certains bassins miniers), la probabilité de voir se développer un affaissement résiduel pourra être considérée comme réelle, dans le cas contraire, elle pourra être négligée (on se réfèrera alors plutôt à un aléa « tassement » pour caractériser le devenir de la zone).

La prédisposition de l'aléa « affaissement progressif » à l'aplomb d'exploitations totales constitue donc une exception, en ce sens que l'existence d'anciens affaissements ne prédispose en rien un site à subir d'autres désordres sensiblement similaires à l'avenir.

b) Exploitations partielles menées par chambres et piliers

Contrairement aux exploitations foudroyées qui ont pour conséquence directe (voire pour objectif) de provoquer l'affaissement de la surface, les exploitations partielles par chambres et piliers abandonnés n'ont d'intérêt que de garantir la stabilité de la surface contre tout risque d'affaissement ou d'effondrement.

La prédisposition d'un site face au risque d'affaissement à l'aplomb d'anciennes exploitations par chambres et piliers abandonnés dépend donc de la combinaison de deux prédispositions : la rupture inopinée de l'ouvrage souterrain et le mode de comportement des terrains de recouvrement.

La prédisposition à la rupture de l'ouvrage souterrain, facteur essentiel du déclenchement du phénomène, repose principalement sur l'état des contraintes de sollicitation qui s'exercent sur les piliers (tributaires notamment du taux de défruitement et de la profondeur des travaux), des caractéristiques de résistance des piliers (résistance, mais aussi taille, forme, régularité, etc .) et d'autres facteurs tels que la sensibilité des matériaux à l'eau, la présence de failles, etc.

c) Exploitations pentées et filoniennes (pour mémoire)

Dans ce type d'exploitations, auxquelles se rattachent les mines de fer de l'Ouest, c'est principalement la stabilité des stots, dalles ou piliers laissés en place pour assurer la tenue des épontes qui gouverne la prédisposition d'une exploitation filonienne à subir des affaissements en surface.

2.4 LES TASSEMENTS

Les phénomènes de tassement affectent essentiellement les anciennes exploitations totales (surtout les tailles ou dépilages foudroyés) ou les ouvrages de dépôts (terrils, verses, bassins de décantation, etc.).

Définition et effets en surface

On parle de tassements lorsque les mouvements du sol ne résultent pas de l'extraction ou de la disparition de minerai (par dissolution) 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, etc.) ou sous l'effet de leur propre poids, les terrains sont amenés à se tasser et donner naissance à des mouvements de faible ampleur en surface (sauf exception, l'amplitude maximale est d'ordre décimétrique). Ces tassements différentiels sont néanmoins susceptibles d'engendrer des dégâts sur les bâtiments et les infrastructures, sans mettre en péril les personnes.

Ce type de manifestation peut avoir des effets assez similaires au 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. La différence entre les deux n'est d'ailleurs pas toujours aisée à établir dans des zones sensibles à ces deux types de phénomènes.

Mécanismes initiateurs

a) Anciennes exploitations menées par foudroyage

Même si tous les terrains exploités par foudroyage (exploitation par taille ou dépilage) sont sujets, durant la phase des derniers mouvements résiduels, au développement de tassements, les manifestations les plus perceptibles se développent à l'aplomb de 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. Sous l'effet de perturbations extérieures, une compaction différée des terrains peut être constatée. Lorsque cette compaction se développe de manière différentielle suivant les secteurs, des désordres peuvent affecter les structures non adaptées, situées en surface.

b) Tassements sur les dépôts, découvertes ou puits remblayés

Les stériles d'exploitation, mis en dépôt par voie sèche sous forme de terrils ou de verses, ainsi que les remblais des exploitations à ciel ouvert (découvertes), peuvent présenter une composition assez hétérogène par la nature ou la granulométrie des matériaux. Leur mise en place, assurée souvent par simple déversement, ne garantit pas leur compaction complète. L'effet de fortes surcharges appliquées en surface ou la modification des conditions hydrauliques peut accélérer les tassements au droit des dépôts ou des secteurs remblayés.

c) Soulèvement des terrains

A l'arrêt des pompages d'exhaure, mis en œuvre durant l'exploitation, la resaturation des terrains pendant l'ennoyage peut, dans certaines configurations, se traduire par une remontée lente et très étalée de toute la zone précédemment dénoyée. L'amplitude des mouvements verticaux observés peut atteindre quelques centimètres. Comme pour le phénomène de tassement, il s'agit d'une remobilisation des terrains affectés par les travaux miniers, postérieure à l'exploitation. Au regard des retours d'expérience disponibles, les mouvements de ce type sont très étalés dans l'espace et ne provoquent pas d'effets visibles sur les bâtiments traditionnels.

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.

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	Valeur
Très limitée	Tassements différentiels limités	$cm < t_d < dm$
Limitée	Tassements différentiels importants	$t_d > dm$

*Tableau 5 : Classes d'intensité de l'aléa « tassements »
(valeurs purement indicatives)*

Qualification de la probabilité d'occurrence

a) 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'anciens mouvements de type « tassements » (encore visibles en surface ou décrits dans les archives). Le retour d'expérience peut montrer la prédisposition d'un site comparable à subir des phénomènes sensiblement similaires ;
- la modification des conditions hydrauliques (remontée de nappe, eaux de surface et souterraines rupture de canalisation, obturation de drains, etc.) ;
- l'application de fortes surcharges en surface dans le cadre d'un aménagement du site (constructions, entreposage, etc.).

b) Anciennes exploitations menées par foudroyage

La profondeur des anciens travaux constitue l'un des principaux facteurs de prédisposition au développement de tassements perceptibles en surface à l'aplomb d'anciennes exploitations totales : plus les travaux sont profonds moins les tassements sont importants. La limite de profondeur en deçà de laquelle l'intensité des effets est considérée comme négligeable est souvent prise autour de 50 mètres (selon les configurations spécifiques rencontrées).

c) Dépôts, découvertes ou puits remblayés

Parmi les principaux facteurs de prédisposition, on peut citer :

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

d) Remontée des terrains

La remontée de la surface qui accompagne la remontée de nappe après l'arrêt des pompages d'exhaure s'effectue sur des secteurs très étendus, engendrant ainsi des mouvements très étalés. La prédisposition au développement de tassements différentiels dommageables sera donc, dans l'immense majorité des cas, très faible. Seules des configurations géologiques et/ou d'exploitation exceptionnelles et défavorables contribueront donc à générer des nuisances sur les biens pouvant être imputées à ce type de mouvements.

2.5 LES GLISSEMENTS

Les mouvements de pente superficiels ou profonds, désignés sous les termes de reptations, ravinements, glissements superficiels ou glissements profonds en fonction des processus et volumes de matériau mis en jeu, constituent les désordres les plus couramment observés le long des flancs des ouvrages de dépôts (terrils, digues et bassins de décantation, etc.) ou des versants de découvertes creusées en roche meuble.

Ces divers mouvements de pente sont classiquement différenciés, selon leur importance, en glissements superficiels et glissements profonds.

2.5.1 Les glissements superficiels

Définition et effets en surface

Les mouvements de pente superficiels (reptations, ravinements, glissements) se manifestent principalement, lorsque les flancs des dépôts sont trop raides, par des glissements pelliculaires, le creusement de rigoles de ravinement parfois profondes et par l'épandage de matériau en pied de talus. Les matériaux érodés s'éboulent le long la pente et finissent par s'accumuler en bourrelets ou amas. Il s'agit de phénomènes généralement lents qui mettent en jeu des volumes limités de matériau (quelques dizaines de m³).

Si ce type de phénomènes induit fréquemment des nuisances paysagères importantes, 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 et induire ainsi, indirectement des nuisances sur les terrains alentours.

Néanmoins, ces instabilités doivent faire l'objet d'une attention toute particulière le long des flancs de digues de rétention de résidus liquides dont la rupture entraînerait un processus de glissement de plus grande ampleur.

Les principaux facteurs favorisant le développement de mouvements de pente superficiels sont :

- l'absence d'un système de drainage et d'écoulement maîtrisé des eaux ou un manque d'entretien du système de drainage et d'écoulement ;
- la nature des flancs de talus : les désordres apparaissent préférentiellement le long des flancs peu végétalisés, contenant une proportion importante de particules fines ;
- les sollicitations dynamiques (séismes, vibrations), le développement de certaines activités humaines.

Qualification de l'intensité

L'intensité du phénomène dépend principalement du volume de matériau mis en mouvement qui reste, dans tous les cas, limité. Ce type de désordre peut engendrer des dégradations aux constructions exposées sans mettre en danger les personnes.

Les principaux facteurs susceptibles de jouer sur le volume de matériau mis en mouvement, sont : la nature et la granulométrie des matériaux constituant le talus, la morphologie de la pente, la végétation, l'intensité des ruissellements, l'existence ou non de mesures préventives d'aménagement.

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

Tableau 6 : Classes d'intensité de l'aléa « glissement superficiel » (valeurs purement indicatives)

Qualification de la probabilité d'occurrence

Les principaux facteurs qui contribuent à augmenter la prédisposition d'un talus aux glissements ou mouvements de pente superficiels sont essentiellement :

- l'existence d'anciens mouvements de ce type sur le site ou un autre site présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation similaires ;
- la topographie et la morphologie des flancs ;
- la nature des matériaux constituant le talus ;

- une mauvaise gestion des eaux de surface ou la dégradation du dispositif de drainage préexistant (rupture de canalisation, drains bouchés, canaux de ruissellement remplis par des éboulis, etc.) ;
- les activités humaines (vibrations, surcharges par dépôts, etc.) et autres facteurs aggravants (séismes).

2.5.2 Les glissements profonds

Définition et effets en surface

On appelle glissement, le mouvement d'une masse de terrain le long d'une zone de rupture définie par une surface circulaire, plane ou autre et dont la vitesse de déplacement, en phase critique, varie fréquemment de quelques millimètres à quelques mètres par heure. Ce type de phénomène est susceptible d'affecter aussi bien les ouvrages de dépôts que les flancs d'ouvrages creusés en roche tendre. Dans le cas d'un ouvrage de dépôt (cas d'un bassin de décantation), l'instabilité prend généralement la forme d'un glissement circulaire ou « en loupe ».

Les volumes concernés peuvent s'avérer importants. Ils se répandent vers l'aval sous forme de cônes d'épandage et peuvent être à l'origine de la dégradation des éventuels bâtis et ouvrages situés en pied de talus.

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.

Parmi les diverses perturbations possibles, les plus à craindre sont :

- l'affaiblissement du pied de talus, par le prélèvement de matériaux, l'érosion par les eaux en particulier dans le cas d'un cours d'eau longeant le dépôt ou la présence d'anciens travaux miniers peu profonds non stabilisés ;
- la déstabilisation d'origine hydraulique, dans le cas d'un dépôt ou d'un bassin de décantation maintenu hors d'eau par drainage. Si dans la plupart des configurations, le dépôt est constitué de matériaux perméables et convenablement drainés, certaines modifications du régime d'écoulement des eaux (obturation ou rupture d'un drain) peuvent initier la présence d'eaux stagnantes à l'interface dépôt - terrain d'assise ou la formation de zones marécageuses en pied de dépôt.

Qualification de l'intensité

C'est encore le volume des matériaux mis en mouvement qui influe sur l'intensité du phénomène en rattachant les classes d'intensité à l'importance des effets potentiels sur les biens (dommages) surtout si, dans certaines circonstances défavorables, les dégâts infligés aux bâtiments sont de nature à mettre en péril la sécurité des personnes qui y résident.

Les principaux facteurs d'influence sont les mêmes que ceux des glissements superficiels : nature et granulométrie des matériaux, hauteur et morphologie de la pente, existence ou non de mesures d'aménagement, etc.

Classe d'intensité	Description	Volume mis en jeu
Modérée	Glissements profonds	100 à 5 000 m ³
Elevée	Glissements majeurs	> 5 000 m ³

*Tableau 7 : Classes d'intensité de l'aléa « glissement profond »
(valeurs purement indicatives)*

Qualification de la probabilité d'occurrence

En complément des facteurs de prédisposition déjà examinés dans le cas des glissements superficiels, nous pouvons citer plus spécifiquement :

- la forme et la pente du talus : présence de banquettes, pente moyenne du flanc, l'aspect du déversement des dépôts, etc. ;
- la présence de signes traduisant l'activité des mouvements déjà initiés (fissures de décompression, bourrelets en pied, arbres penchés ou tordus à leur base, etc.) ;
- la présence d'anciens travaux miniers souterrains au droit du talus susceptibles 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 (saturation des terrains, 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, etc.).

3. DESCRIPTION ET EVALUATION DE L'ALEA « EMISSION DE GAZ EN SURFACE »

Définition et effets en surface

Les émissions de gaz de mine en surface sont parfois susceptibles d'engendrer des dangers pour les personnes et les biens. Elles ne concernent que les exploitations souterraines qui réunissent trois conditions essentielles :

- la présence de vides provenant des travaux d'extraction (chambres abandonnées, chantiers partiellement remblayés ou foudroyés) ou des ouvrages d'infrastructures (galeries, puits) qui constituent 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.

Le gaz de mine qui était dilué et évacué par la ventilation, lors de l'exploitation, est, à son arrêt, piégé dans les vides miniers, s'ils ne sont pas ennoyés en totalité par la remontée des eaux. Il peut alors s'accumuler à des concentrations élevées en étant plus ou moins confiné.

Le gaz accumulé peut, sous certaines conditions (liées au gradient de pression), migrer en quantité significative vers la surface, au travers d'anciens ouvrages (puits, descenderies, galeries d'accès, sondages..) si ceux-ci sont plus ou moins bien obturés, mais aussi au travers des terrains de recouvrement.

Suivant la nature et la composition de ce gaz de mine³, 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.

Mécanismes initiateurs

Plusieurs mécanismes, indépendants ou concomitants, peuvent induire une différence de pression positive entre le réservoir souterrain et l'atmosphère extérieure et être à l'origine d'une remontée du gaz de mine vers la surface. On retiendra plus particulièrement les mécanismes suivants :

a) Production de gaz au sein des vieux travaux

Dans les gisements « grisouteux », le charbon non exploité peut contenir des quantités importantes de grisou à des pressions pouvant atteindre 1 voire 2 MPa. Il est donc théoriquement possible que des pressions de cet ordre puissent être

³ Le gaz de mine est généralement un mélange de gaz d'origines diverses, à des teneurs variables. Certains gaz ont une origine endogène (grisou, dioxyde de carbone, radon), d'autres une origine exogène (monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, sulfure d'hydrogène, par exemple).

atteintes dans les anciennes exploitations par désorption du grisou résiduel. Ce phénomène est très lent, mais peut perdurer longtemps après l'arrêt de l'extraction.

La désorption de grisou cesse en présence d'une contre-pression comme celle résultant de la charge hydraulique consécutive à l'ennoyage des vides résiduels.

b) Pistonnage par remontée de la nappe

A l'arrêt des pompages, l'ennoyage du réservoir minier réduit progressivement les vides résiduels disponibles en chassant le gaz de mine qu'ils contenaient. Selon la durée de la remontée des eaux (quelques mois à plusieurs années) et le volume des vides, le phénomène de « pistonnage » du gaz par l'eau sera plus ou moins fort. Cette phase constitue une période transitoire fondamentale vis-à-vis du risque d'émission du gaz en surface.

c) Variations de la pression atmosphérique

Les variations de la pression atmosphérique induisent une différence de pression entre le réservoir souterrain et l'atmosphère externe. A l'occasion d'une dépression météorologique, les anciens travaux peuvent se trouver momentanément en surpression, celle-ci engendrant (ou accentuant) alors la migration de gaz vers la surface. Ce phénomène transitoire n'est pas à négliger, en particulier lorsque les vides souterrains sont proches de la surface.

d) Tirage naturel

Dans certaines configurations, il peut s'établir, de manière naturelle, un écoulement gazeux entre le réservoir souterrain et l'atmosphère externe. Ce phénomène bien connu des anciens mineurs et largement utilisé par eux, s'appelle « tirage naturel ». Il a pour cause une différence de température entre les terrains et l'air atmosphérique et une différence d'altitude entre plusieurs orifices miniers. L'effet est surtout marqué dans les périodes d'été et d'hiver.

Un tel régime d'écoulement s'établit d'autant plus facilement que les communications entre le réservoir et l'extérieur seront faciles (par exemple, lorsque les orifices miniers sont importants et mal obturés ou que les terrains de recouvrement sont peu épais et fracturés).

Qualification de l'intensité

Le phénomène redouté correspond à une remontée en surface d'un gaz de mine susceptible de présenter des dangers, d'abord pour les personnes et, plus exceptionnellement, pour les biens. Il s'agit essentiellement des dangers d'inflammation ou d'explosion et d'asphyxie. L'intensité du phénomène se décrit classiquement sous forme de « gravité » vis-à-vis des personnes, en considérant les principales caractéristiques suivantes :

- la composition du gaz de mine (inflammabilité et/ou toxicité) ;
- l'importance du flux gazeux et sa répartition à la surface (concentration locale).

L'échelle d'intensité proposée ci-dessous, à titre purement indicatif, peut servir de repères pour l'évaluation de l'aléa et non de 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 LIE⁴ • soit des gaz asphyxiants, toxiques ou ionisants, à des teneurs supérieures à la TMR⁵ mais ne pouvant pas entraîner qu'un impact faible et réversible
Modérée	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
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 léthal

*Tableau 8 : Classes d'intensité de l'aléa gaz de mine
(valeurs guides purement indicatives)*

Qualification de la probabilité d'occurrence

La prédisposition d'un site minier à être le siège d'émanations de gaz de mine est essentiellement liée aux deux caractéristiques suivantes :

a) Prédisposition du réservoir à émettre du gaz

La production du gaz libéré est directement fonction de la nature du charbon et du gisement, ainsi que du volume des vides miniers.

- nature du charbon : 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 intègre également la présence ou non de gaz en phase d'exploitation (classement du gisement) ainsi que l'occurrence d'accidents liés au gaz pendant ou même après l'exploitation ;
- nature du gisement : 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 ;

⁴ LIE : Limite Inférieure d'Explosibilité

⁵ TMR : Teneur Maximale autorisée par la Réglementation en vigueur

- 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.

b) Prédisposition du site à la remontée du gaz 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, par ailleurs, que les remontées de gaz en surface sont favorisées par le processus d'ennoyage (en cours) par rapport à une exploitation où le niveau d'eau est déjà stabilisé (effet de « pistonnage »).
- épaisseur des terrains de recouvrement : l'importance de la profondeur a, tout naturellement, un effet réducteur sur la remontée de gaz. 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 négligeable ;
- perméabilité des terrains de recouvrement : une forte perméabilité favorise la remontée de gaz jusqu'en surface.
- existence de drains préférentiels : les ouvrages de communication entre les vieux travaux et la surface (puits, descenderies, galeries d'accès, etc.) 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. On retiendra également une possible migration dans les terrains environnants, en raison de l'existence d'anciens travaux mal localisés ou d'anciennes galeries de subsurface. D'autre part, les failles naturelles ou les fractures majeures provoquées par l'exploitation constituent des passages privilégiés pour les écoulements gazeux vers la surface.

4. ZONAGE ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS

4.1 CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN

Marge d'influence

La représentation des contours délimitant les zones d'aléas s'établit en considérant, dans l'analyse, outre la zone sous-minée directement affectée par les travaux miniers, la zone située en bordure susceptible d'être influencée par l'évolution du désordre attendu. Cette dernière zone constitue la « marge d'influence » qui, depuis l'aplomb des travaux, s'étend jusqu'à une limite en surface matérialisée par l'angle d'influence des travaux miniers, qu'il s'agisse d'un effondrement localisé ou d'un affaissement.

Marge d'incertitude

La marge d'incertitude représente une limite supplémentaire qui matérialise les incertitudes cartographiques dues à la précision des levés, des points de référence, du fond de plan et de son échelle, de l'assemblage des plans cadastraux (lorsque ce travail est nécessaire) et surtout du report fond – jour des plans d'exploitation.

En fonction de la présence ou non de points de référence permettant un bon « calage » des plans (comme les puits repérés, par exemple), l'incertitude cartographique peut ne représenter que quelques mètres pour atteindre une dizaine de mètres, voire davantage, dans certains cas (manque de repères fond – jour). Pour simplifier, on retient classiquement, une marge d'incertitude de 10 à 20 m pour le zonage des effondrements localisés ou des affaissements et aucune marge de sécurité pour les ouvrages de surface bien repérés (puits, entrées de galeries).

Marge de sécurité

Dans le cas des effondrements localisés ou affaissements la marge de sécurité englobe donc la marge d'influence et la marge d'incertitude (sauf pour les ouvrages de surface parfaitement localisés).

Cartographie de l'aléa mouvements de terrain

L'étape qui suit l'analyse consiste à reporter, sur un fond cartographique de la surface du sol, les différentes zones d'aléas en leur attribuant une couleur conventionnelle. On veille, en général, compte tenu des incertitudes évoquées précédemment, à lisser les contours des différentes zones.

4.2 CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA EMISSION DE GAZ DE MINE

La cartographie de l'aléa « émission de gaz de mine en surface » ne présente pas de spécificité particulière. L'extension des zones d'aléas doit inclure l'incertitude pouvant provenir d'une mauvaise localisation spatiale des anciens travaux souterrains et des anciens ouvrages miniers débouchant en surface mais également la migration latérale possible des gaz par les ouvrages connectés, les terrains déconsolidés, etc.