

Mine de Sain Bel (69)
**Evaluation et cartographie des aléas mouvements
de terrain**




DIFFUSION :

Bruno VAN-MAEL
Jacques BUSSET
Dominique MIDOT

DRIRE Rhône-Alpes (2 ex.)
Pôle Après-Mines Sud
GEODERIS D

Réf : GEODERIS S 2008/42DE - 08RHA2230

Date : 28/03/08

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	O. LEFEBVRE	P. BARANGER	A. DOMMANGET
Visa			

Mine de Sain Bel (69)
**Evaluation et cartographie des aléas mouvements
de terrain**

SOMMAIRE

1.	<i>Cadre et objectif</i>	2
2.	<i>Methodologie et travaux effectues</i>	2
2.1.	Situation miniere / historique	2
2.2.	Déroulement de l'étude	2
2.3.	Risque et aléa	2
3.	<i>Aleas résiduels</i>	2
3.1.	Incertitude et marges d'affichage	2
3.2.	Nature des aleas résiduels retenus	2
3.2.1.	L'effondrement localisé	2
3.2.2.	L'affaissement	2
3.2.3.	Le phénomène de tassement	2
3.2.4.	Instabilité de pente	2
4.	<i>Conclusion</i>	2

Mots clés : Aléas mouvements de terrain, Sain Bel, pyrite

1. CADRE ET OBJECTIF

Le gisement de pyrite de Sain Bel a été exploité depuis le moyen âge, d'abord pour le cuivre et le plomb, puis, à partir de 1830/1840, pour le soufre contenu dans la pyrite (fabrication d'acide sulfurique). L'exploitation, menée en dernier lieu par la société Produits Chimiques Pechiney Saint-Gobain, s'achèvera en 1972, pour une production de pyrite de fer de 18.4 millions de tonnes (référence 1825-1972). La Compagnie Industrielle et Minière (CIM), dernier concessionnaire, a réalisé un dossier de demande d'arrêt définitif des travaux daté de fin 2006.

La DRIRE, conformément à la loi du 30 mars 1999 et au décret du 6 juin 2000, a lancé une démarche en vue de l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM). Les études préalables ont été confiées à GEODERIS, qui a sollicité la collaboration du BRGM pour la réalisation de la phase informative et l'évaluation des aléas mouvements de terrain.

L'étude porte sur la concession de Sain Bel (voir figure 1).

Son objectif est de :

- déterminer l'existence, la nature et le niveau des aléas résiduels après l'arrêt de l'exploitation,
- délimiter les zones concernées par ces aléas.

Les données acquises devront permettre de décider de la pertinence de la mise en œuvre d'un PPRM, de définir le périmètre d'instruction et d'établir les cartes réglementaires prescrivant les restrictions d'urbanisme et les modalités de construction.

Elles devront permettre également d'identifier, à partir des fonds topographiques ou photographiques utilisés, les zones à risques potentiels : présence d'aléas significatifs sous des enjeux existants (habitations, voiries...).

Les communes concernées par les travaux miniers sont les suivantes :

- Saint-Pierre-la-Palud,
- Sourcieux,
- Sain Bel,
- Bibost,
- Savigny.

2. METHODOLOGIE ET TRAVAUX EFFECTUES

2.1. SITUATION MINIERE / HISTORIQUE

L'exploitation du gisement a débuté dans l'antiquité pour le plomb et le cuivre. Depuis 1430, on connaît la succession des différents propriétaires de la mine de Sain Bel, dont la première concession fut attribuée en 1798. Après divers changement de propriétaires et une réduction de la superficie du titre, la concession telle qu'on la connaît aujourd'hui a été mutée en 1963 à la société Produits Chimiques Pechiney Saint-Gobain devenue en 1972 Rhône Progil puis à la compagnie Industrielle et Minière (CIM) en 1975.

Plusieurs dossiers d'abandon partiel de travaux ou de fermeture d'orifices ont été déposés, jusqu'au dépôt du dossier d'arrêt définitif des travaux daté de fin 2006.

Au cours de son histoire et jusqu'à son arrêt en 1972, la mine a connu des fluctuations diverses, avec des phases de mise en sommeil alternant avec des périodes prospères.

1833 sera une année clef pour l'exploitation, avec la mise au point du procédé de grillage des pyrites permettant la production d'acide sulfurique à partir de la pyrite. La production de la mine augmentera alors jusqu'au record de l'année 1903 (320 000 t).

Le minerai se présente sous forme de filons fortement pentés et d'amas irréguliers ramifiés. Les techniques d'exploitations anciennes (avant 1870) ne sont pas connues, mais elles représentent une faible part de la production totale. De 1870 à 1950, la méthode employée est celle des sous étages descendants de deux tranches montantes. Malgré le remblayage pratiqué, les affaissements de l'époque peuvent atteindre plusieurs mètres (les hauteurs d'extraction sont poussées jusqu'à 150m).

A partir de 1950, la méthode des tranches unidescendantes foudroyées est généralisée : on exploite le gisement en descendant, en abattant l'étagage au fur et à mesure. Ponctuellement, l'exploitation s'est faite par la méthode de l'unimontante remblayée soit afin d'éviter les affaissements en surface soit pour des raisons pratiques.

L'exploitation par foudroyage sur des hauteurs cumulées importantes s'est accompagnée en surface d'affaissements dans l'axe des filons, pouvant atteindre parfois plusieurs mètres.

Les vides résiduels au fond sont au final liés essentiellement aux galeries d'ossature, puits, faux puits et on peut penser que la quasi-totalité des chambres est effondrée ou remblayée.

2.2. DEROULEMENT DE L'ETUDE

Conformément à la méthodologie des études pré PPRM, l'étude est basée essentiellement sur une analyse documentaire, dans le cas présent du dossier d'arrêt définitif des travaux de la CIM, complétée par des visites de site.

L'étude est structurée en deux volets :

1. **Une phase informative**, présentant la synthèse des données minières, le repositionnement des travaux dans leur environnement et les éléments utiles et nécessaires à l'évaluation des aléas résiduels (géologie, hydrogéologie, indices de désordres...). Le produit de cette phase est une carte informative, positionnant les différents éléments sur cadastre.
2. **Une phase d'évaluation et de cartographie de l'aléa**. Sur la base des données acquises lors de la phase informative, les différents phénomènes potentiellement envisageables compte tenu de la nature des travaux sont étudiés et évalués à la lumière des paramètres spécifiques au site. Enfin, l'enveloppe des zones affectées par les différents aléas est reportée sur fond cartographique.

Le rapport BRGM comportant les deux volets de l'étude est présenté en annexe A (rapport BRGM/RP-55956-FR). La carte informative est présentée en annexe B et les cartes d'aléa en annexe C.

2.3. RISQUE ET ALEA

L'aléa est un concept spécifique qui correspond à l'éventualité qu'un phénomène se produise sur un site donné en atteignant une intensité ou une gravité qualifiable ou quantifiable. Dans le domaine du risque minier comme celui du risque naturel, l'aléa résulte du croisement de l'intensité d'un phénomène redouté et de l'éventualité de sa survenance.

L'aléa est hiérarchisé en l'appliquant à différentes configurations. Les termes « aléa fort » ou « aléa très fort » signifient que les zones concernées sont plus prédisposées à l'apparition de dégradations en surface que les zones « d'aléa moyen » ou « d'aléa faible » ou que les phénomènes susceptibles de se produire dans cette zone sont d'une intensité plus élevée.

Une zone de risque est définie comme la partie de la zone d'aléa dans laquelle se trouve un enjeu vulnérable en surface (habitation, infrastructure...).

3. ALEAS RESIDUELS

3.1. INCERTITUDE ET MARGES D’AFFICHAGE

L’affichage de l’aléa lié à un élément minier intègre l’extension du phénomène, l’incertitude de localisation intrinsèque de l’ouvrage ou du secteur de travaux concerné et une incertitude propre au support cartographique.

L’incertitude de localisation relative à l’ouvrage minier dépend des éléments ayant mené à son positionnement. Si les ouvrages relevés sur le terrain au DGPS se voient attribuer une très faible incertitude (de quelques décimètres à quelques mètres), ceux dont la position est tirée d’anciens croquis portant peu de points de repère se voient attribuer l’incertitude du plan dont ils sont issus.

Le support cartographique (SCAN 25, photogrammétrie, orthophotoplan) de par sa précision est lui-même vecteur d’une erreur de positionnement indépendante des ouvrages miniers. Elle est de l’ordre de 20 m environ pour le SCAN 25, et de moins de 5 m pour l’orthophotoplan.

Ces incertitudes n’apparaissent pas en cartographie de phase informative, mais sont incluses dans les marges prises en compte pour l’affichage des aléas.

3.2. NATURE DES ALEAS RESIDUELS RETENUS

Le décret en conseil d’Etat n° 2000-547 du 16 juin 2000 relatif à l’application des articles 94 et 95 du code minier stipule que les PPRM sont élaborés et mis en œuvre dans les conditions prévues par la loi du 22 juillet 1987 ainsi que par le décret du 5 octobre 1995. Les aléas pris en compte, au titre de l’article 2 du décret du 5 octobre 1995 sont notamment les suivants : affaissements, effondrements, fontis, inondations, émanations de gaz dangereux, pollutions des sols ou des eaux, émissions de rayonnements ionisants.

La présente note concerne uniquement les aléas liés aux mouvements de terrain. En ce qui concerne la pollution des eaux ou des sols, il a semblé à Géodéris que des compléments devraient être demandés à l’exploitant dans le cadre de l’AP1. L’aléa inondation sera traité avec l’aspect pollution.

On pourra se reporter au rapport BRGM en annexe A pour le détail des phénomènes et l’évaluation des aléas.

Le tableau 1 présente les phénomènes retenus, les configurations correspondantes, les niveaux d’aléa ainsi que les modalités de cartographie.

Les cartes d’aléas se trouvent en annexe C.

Aléa	Niveau retenu	Mécanisme	Configuration	Modalités de cartographie
Effondrement localisé	moyen	fontis	Galeries isolées situées à moins de 20 m de profondeur	Extension latérale (5 m) + incertitude globale de positionnement, soit au total une marge de 20 à 30 m
		débouillage, rupture de tête de puits	Puits remblayés non dallés ou sans traitement connu	Extension latérale (5 m) + incertitude globale de positionnement, soit au total une marge de 20 à 30 m
	Faible	débouillage, rupture de tête de puits	Puits remblayés et dallés	Extension latérale (5 m) + incertitude globale de positionnement, soit au total une marge de 20 à 30 m
		fontis	Anciennes mines	Extension latérale (5 m) + incertitude globale de positionnement, soit au total une marge de 30 m
		fontis	Galeries isolées situées entre 20 et 50 m de profondeur	Rayon d'extension latérale de 5 m + incertitude (10 m sur Fontienne, Bois du Roi et la Baume, 50 m ailleurs et 5 m quand l'ouvrage a été repéré)
Affaissement	Faible		Zone d'influence des travaux	15 m de marge autour de la "zone rouge"
Tassement	Fort		Zone des effets en surface des travaux identifiés ("zone bleue")	Emprise "zone bleue"
	Faible		Terrils et verses	Objets concernés
Instabilités de pente	Faible		Terrils et verses	Objets concernés

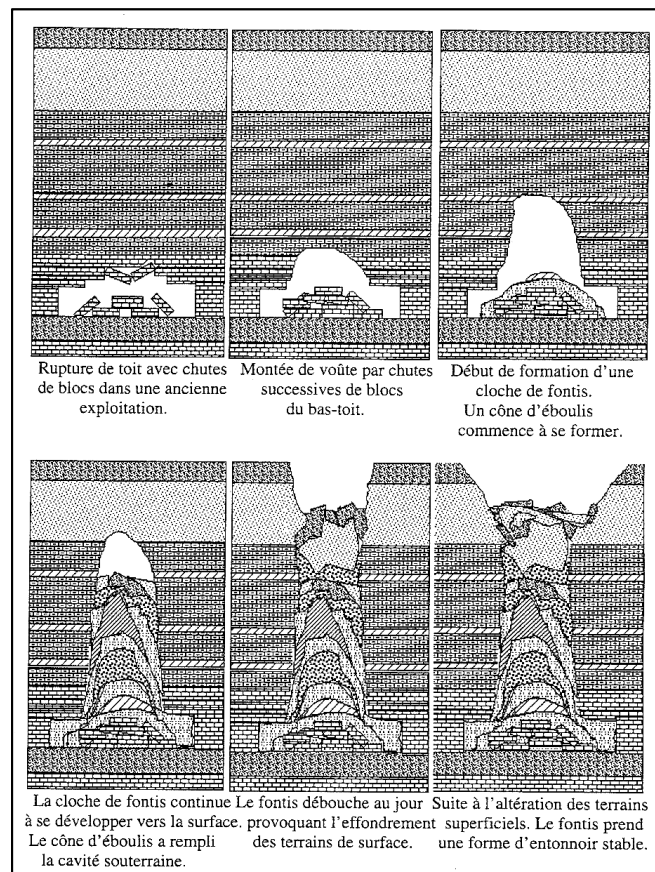
Tableau 1

Les aléas retenus sur les sites étudiés sont présentés ci-après.

3.2.1. L'EFFONDREMENT LOCALISE

Il s'agit de l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont les caractéristiques géométriques dépendent du phénomène initiateur et du comportement des terrains sus-jacents.

L'effondrement localisé peut être la conséquence soit de la remontée au jour d'un vide initié en profondeur (fontis sur une galerie par exemple) ou encore de la rupture d'une colonne de puits. On voit ci-dessous l'illustration du phénomène de fontis.



On retiendra que pour le site étudié, les configurations favorables à ce type de phénomène sont les galeries isolées, descenderies et les secteurs exploités à faible profondeur. Ces configurations sont en effet favorables à la persistance éventuelle de vides souterrains susceptibles de remonter jusqu'au jour. Les orifices d'ouvrage sont également propices à des phénomènes de type débouillage ou éboulement de tête de puits.



Effondrement localisé de grande dimension

Un **aléa effondrement localisé moyen** a été retenu au droit des puits remblayés sans dalle ou sans traitement connu et au droit des galeries isolées situées à moins de 20 m de profondeur.

Un aléa **effondrement localisé faible** a été par ailleurs retenu au droit des puits remblayés et dallés, à l'aplomb des galeries isolées situées entre 20 et 50 m de profondeur et sur l'emprise des travaux des anciennes mines compte tenu des incertitudes sur l'exploitation.

L'affichage de l'aléa intègre l'extension latérale du phénomène (5 m) et l'incertitude de positionnement propre à chaque objet minier, soit une marge de 20 à 30 m autour des puits et galeries et de 30 m autour des anciennes mines.

3.2.2. L'AFFAISSEMENT

Il correspond à un mouvement souple et progressif des terrains de surface induit par l'éboulement des travaux souterrains. Il se manifeste par l'apparition de dépressions sous forme de cuvettes et concerne :

1. les exploitations totales (tout le minerai est enlevé dans les tailles), menées à moyenne ou grande profondeur et présentant des extensions horizontales importantes. Il se produit dans les cinq ans suivant l'arrêt de l'exploitation.



Cuvette d'affaissement de Bray-en-Cinglais – Soumont (14)

2. Les exploitations partielles (chambres et piliers) présentant des configurations de profondeur, d'exploitation et de pendage favorables au déclenchement de ce type de phénomène (gisements pentés avec possibilité de déboussages de remblai, ou suffisamment profonds pour menacer la stabilité des piliers).

A Sain Bel, les affaissements ont été suivis en fin d'exploitation et ont montré des mouvements résiduels infimes (de l'ordre du millimètre par an). On peut admettre que l'affaissement s'est produit sur l'ensemble de la surface exploitée, mais on ne peut dans le même temps exclure localement une faible probabilité de persistance de ponts durs permettant d'envisager des reprises d'affaissement. Par mesure de sécurité, un aléa affaissement faible a été maintenu à l'aplomb de la zone d'influence des travaux définie dans le dossier d'arrêt de l'exploitant, avec une marge de 15 m supplémentaire autour de la « zone rouge » (aplomb de l'exploitation).

3.2.3. LE PHENOMENE DE TASSEMENT

Il s'agit d'un phénomène de recompaction d'un massif meuble ou affecté par les travaux souterrains lié aux variations importantes de conditions environnementales ou de surcharges.

Cet aléa est évalué au dessus des zones exploitées en souterrain, des ouvrages de dépôts, des découvertes ainsi qu'au droit des ouvrages remblayés.

Sur le site de Sain Bel, un **aléa tassement fort** a été retenu sur la « zone bleue » du DADT (hors chemin des Esses), qui correspond à la zone des effets des travaux miniers identifiés en surface. Le niveau fort de l'aléa, exceptionnel pour ce type de phénomène, est à rapprocher des hauteurs exploitées (environ 300m) et de la mise en place localement de 30 m de remblais compensateurs.

Le BRGM a également retenu un aléa tassement faible sur les galeries isolées situées à plus de 50 m de profondeur. GEODERIS considère que cet aléa n'est pas à considérer, aussi la cartographie en a-t-elle été supprimée. Afin de conserver la mémoire de la présence de ces travaux profonds pour tout projet exceptionnel, nous avons reporté une « enveloppe globale des travaux et de leurs effets » destinée à attirer l'attention en cas d'aménagement particulier.

GEODERIS considère par contre qu'un aléa tassement faible doit être retenu à l'aplomb des terrils et verses.

La cartographie présentée intègre les options retenues par GEODERIS.

3.2.4. INSTABILITE DE PENTE

Ont été regroupés sous cette appellation les phénomènes d'érosion, de reptation, chute de blocs et glissement susceptibles de se produire en particulier sur les ouvrages de dépôt.

Un niveau d'aléa faible a été retenu sur le terril Perret et sur quelques verses repérées lors des visites de site et non mentionnés dans le dossier d'arrêt : pour ces derniers dépôts, le contour est approximatif en l'absence de toute cartographie existante et réalisé à partir de rapides observations de terrain.

4. CONCLUSION

La présente étude a permis d'évaluer et de cartographier les aléas miniers résiduels liés aux mouvements de terrains. Ces aléas ont pour origine les travaux de surface (terrils, verses) et les travaux souterrains. Les niveaux d'aléas retenus s'étagent entre le niveau faible et le niveau fort.

L'effondrement localisé est retenu suivant les configurations avec un niveau faible à moyen. **L'affaissement** est retenu avec un niveau faible, tandis que le **tassement** est retenu avec un niveau faible à fort.

Les ouvrages de dépôts, en nombre réduit et de taille modeste, sont quant à eux à l'origine d'un **aléa instabilité de pente** et d'un aléa tassement de niveau faible.

Les principaux risques mis en évidence sont liés à l'aléa effondrement localisé de niveau moyen qui concerne plusieurs bâtiments :

- Sur la commune de Sourcieux, à proximité du puits du jour et du deuxième puits du Gervais
- Sur la commune de Sain Bel le long de la galerie d'écoulement à l'aval du puits du travers.

L'étude d'aléa sur un bassin de grande étendue s'opère en grande majorité sur base documentaire. Aller plus loin dans l'évaluation de l'aléa et du risque, à proximité des enjeux existants, nécessite de procéder à une reconnaissance spécifique pour affiner la réalité du risque en appréciant la géométrie et l'état des cavités, la qualité des terrains de couverture...

Ce type de reconnaissance est ici préconisé pour les secteurs urbanisés affectés d'aléa effondrement localisé moyen. Aujourd'hui, par rapport aux zones de risques recensées au niveau national, ces zones de risque n'apparaissent toutefois pas prioritaires.

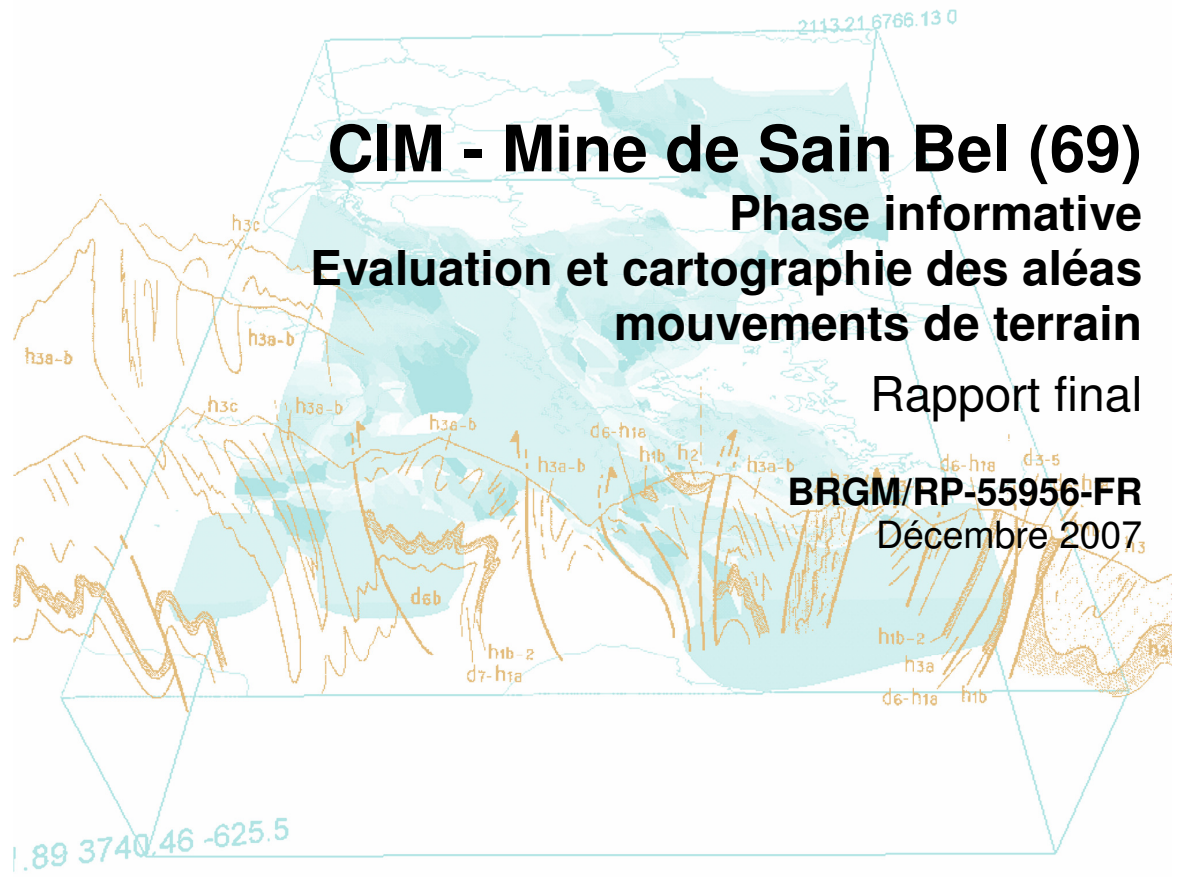
On notera que la zone d'aléa tassement fort est aujourd'hui exempte de construction. Elle devrait le rester selon nous.

ANNEXE A

*Rapport de phase informative et d'aléa
BRGM/RP-55956-FR*

(hors texte)

Document à accès réservé



CIM - Mine de Sain Bel (69)
Phase informative
Evaluation et cartographie des alés
mouvements de terrain
Rapport final

BRGM/RP-55956-FR
Décembre 2007

Document à accès réservé

CIM - Mine de Sain Bel (69)

Phase informative

Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain

Rapport final

BRGM/RP-55956-FR
Décembre 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM BRGM 2007 DEPD06

N. Zornette
Avec la collaboration de
A. Nachbaur

Vérificateur :

Nom : Luc Closset

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Approbateur :

Nom : Dominique Artignan

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

GEODERIS

 Géosciences pour une Terre durable
brgm

Avertissement

Ce rapport est adressé en recommandé avec accusé de réception en communication exclusive au demandeur : GEODERIS, en 5 exemplaires conformément au cahier des charges.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait, et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Mots clés : aléa, mouvement de terrain, après-mine, pyrite, effondrement localisé, fontis

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
N. Zornette avec la collaboration de A. Nachbaur (2007) - CIM - Mine de Sain Bel (69). Phase informative. Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain. Rapport final. BRGM/RP-55956-FR, 53 pages, 22 illustr, 2 planches hors-texte.

Synthèse

En vue de l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM), Géodéris a demandé au BRGM d'établir une carte informative et une carte des aléas mouvements de terrain relative à la concession minière de Sain Bel, située à 20 km à l'Ouest de l'agglomération de Lyon.

L'exploitation du gisement est ancestrale et largement antérieure à l'institution de la concession de Sain Bel (25 juin 1798). Le gisement (pyrite de fer et de cuivre) fut exploité dès le Moyen-Âge pour le cuivre. Ensuite la Révolution Industrielle du 19^{ème} siècle provoqua dès 1840 un fort développement de l'exploitation de la zone centrale du gisement constituée de pyrite de fer riche en soufre. Finalement l'exploitation s'arrêta définitivement en 1972.

Le gisement de pyrite a été exploité sous les communes de Chevinay, Saint Pierre-la-Palud et Sourcieux-les-Mines, sur la rive droite de la Brévenne. Il est composé de plusieurs mines (la Mine de Pyrite de fer, les Vieilles Mines, la Mine du Pilon, la Mine du Gervais et de Silice) auxquelles s'ajoutent des puits et galeries de recherches qui n'ont pas donné lieu à des exploitations.

Compte tenu des techniques d'exploitation employées, et notamment le foudroyage durant les 25 dernières années pour la mine de pyrite, un affaissement en surface s'est produit. Au final, le gisement de pyrite a été remplacé par un matelas de remblais et de roches foisonnées d'épaisseur d'environ 300 m. De plus, à certains endroits, l'abaissement de la surface a été compensé par des remblais dont la hauteur peut atteindre 30 m.

Par ailleurs, plusieurs désordres localisés ont été observés durant les nombreuses années d'exploitation et après : effondrement de puits ou faux-puits, apparition de fontis au droit de galeries, dégradation de maisons, écroulement d'une maison...

Dans l'état actuel des connaissances, quatre types d'aléa ont été retenus sur la mine de Sain Bel, dont le niveau maximal est fort :

- affaissement
- tassement
- effondrement localisé, pour les orifices type puits, pour les galeries et pour les travaux souterrains des anciennes mines ;
- instabilité de pente de type glissement de terrain.

Il n'est pas considéré d'aléa effondrement généralisé compte tenu du remblayage et du foudroyage des principaux travaux de la mine de pyrite.

Les enjeux présents sur le site concernent principalement des maisons d'habitation et des zones d'activités. Plusieurs maisons sont concernées par un aléa tassement fort, d'autres par un aléa effondrement localisé de puits ou de galeries, notamment des galeries de recherches et de la galerie 115. Enfin, un aléa affaissement de niveau faible concerne l'ouest du bourg de la commune de Saint Pierre-la-Palud.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. CADRE DE L'INTERVENTION.....	9
1.2. METHODOLOGIE GENERALE	9
1.3. LIMITES DE L'ETUDE.....	10
2. Contexte.....	11
2.1. CONTEXTE GENERAL DU GISEMENT DE PYRITE.....	11
2.1.1. Situation géographique	11
2.1.2. Contexte géologie	12
2.2. DESCRIPTION DE LA MINE DE SAIN BEL	14
2.2.1. Historique administratif.....	14
2.2.2. Historique d'exploitation	17
2.2.3. Méthodes d'exploitation.....	18
2.2.4. Ennoyage de la mine.....	21
3. Identification des données informatives	23
3.1. PLANS MINIERS.....	23
3.1.1. La Mine de Pyrite de fer	23
3.1.2. Les anciennes exploitations : les Vieilles Mines, la Mine du Pilon, la Mine du Gervais et de Silice	24
3.1.3. Autres ouvrages miniers indépendants des exploitations	28
3.2. EVENEMENTS HISTORIQUES EN SURFACE.....	28
3.2.1. Désordres en surface	28
3.2.2. Affaissements et remblayage de la zone affaissée	29
3.3. CARTE INFORMATIVE.....	32
3.3.1. Carte	32
3.3.2. Incertitude cartographique.....	33
4. Aléas « mouvements de terrain ».....	35
4.1. PRESENTATION DES ALEAS.....	35
4.1.1. Phénomène d'effondrement localisé	35

4.1.2. Phénomène d'effondrement généralisé	38
4.1.3. Phénomène d'affaissement	39
4.1.4. Phénomène de tassement.....	39
4.1.5. Phénomène d'instabilité de pente.....	41
4.1.6. Phénomène d'inondation	43
4.2. EVALUATION DES ALEAS	43
4.2.1. Aléa effondrement localisé	43
4.2.2. Aléa effondrement généralisé	47
4.2.3. Aléa affaissement.....	47
4.2.4. Aléa tassement.....	48
4.2.5. Aléa instabilité de pente	48
4.3. CARTE DES ALEAS	49
5. Conclusion.....	51
6. Bibliographie	53

Liste des illustrations

illustration 1 - Plan de situation de la Mine de Sain Bel par rapport à l'agglomération de Lyon	11
illustration 2 - Plan de bornage de la concession, décret du 20 janvier 1919 (source DADT, © scan25 IGN)	12
illustration 3 - Positionnement des différentes mines	13
illustration 4 - Récapitulatif des procédures et des actes administratifs d'abandon des travaux miniers, dans la concession de Sain Bel	16
illustration 5 - Récapitulatif des procédures et des actes administratifs d'abandon des travaux miniers, situés dans le département du Rhône et à l'extérieur de la concession de Sain Bel	16
illustration 6 - Extraction de pyrite de fer, Mine de Sain Bel.....	18
illustration 7 - Plan d'aménagement d'une tranche suivant la méthode des sous-étages descendants de deux tranches montantes.....	19
illustration 8 - Schéma d'aménagement général suivant la méthode des tranches unidescendantes foudroyées.....	20
illustration 9 - Schéma du foudroyage suivant la méthode des tranches unidescendantes foudroyées.....	21
illustration 10 - Récapitulatif des orifices du type « puits ».....	26

illustration 11 - Récapitulatif des orifices hors puits.....	27
illustration 12 - Schéma conceptuel des manifestations de désordres en surface.....	31
illustration 13 - Schéma de principe d'évolution d'un effondrement localisé (d'après Evaluation des Aléas liés au Cavités Souterraines – LCPC – 2002).	35
illustration 14 - Fontis «autocomblé » (d'après Bétournay- 2005)	36
illustration 15 - Principe schématique du mécanisme de l'effondrement généralisé	38
illustration 16 - Aspect moutonné des terrains de remblais	40
illustration 17 - Représentation schématique de plusieurs types d'instabilités de pentes	41
illustration 18 - Erosion sur les flancs du Terril Perret	42
illustration 19 - Informations disponibles dans les tables du DADT.....	45
illustration 20 - Coupe de la Mine du Gervais, issue du DADT (SB02-P2-18/12/2006)	45
illustration 21 - Coupe de la Mine du Pilon, issue du DADT (SB02-P2-18/12/2006).....	45
illustration 22 - Informations disponibles dans les tables du DADT.....	46

Liste des planches hors-texte

Carte informative - échelle 1 / 2 000

Carte des aléas - échelle 1 / 2 000

1. Introduction

L'exploitation du gisement est ancestrale et largement antérieure à l'institution de la concession de Sain Bel (25 juin 1798) dans le département du Rhône (69). Le gisement (pyrite de fer et de cuivre) fut exploité dès le Moyen-Âge pour le cuivre. Ensuite la Révolution Industrielle du 19^{ème} siècle provoqua dès 1840 un fort développement de l'exploitation de la zone centrale du gisement constituée de pyrite de fer riche en soufre. Finalement l'exploitation s'arrêta définitivement en 1972.

1.1. CADRE DE L'INTERVENTION

En vue de l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM), la DRIRE a confié à Géodéris l'évaluation des aléas mouvements de terrain dans ce secteur. La réalisation de cette étude technique est effectuée par le BRGM, elle comprend :

- Phase informative avec inspection de terrain :
 - l'historique administratif de la concession,
 - les contextes géologiques, hydrogéologiques,
 - l'occupation de la surface,
 - l'historique des travaux miniers,
 - leur configuration (ossature, méthodes d'exploitation, position par rapport à la surface...),
 - les évènements historiques (accidents, désordres, ...) pouvant être reliés à la manifestation d'un phénomène,
- Phase aléas :
 - identification des aléas
 - évaluation et cartographie des aléas retenus

1.2. METHODOLOGIE GENERALE

Pour réaliser cette cartographie des aléas de mouvements de terrain, il a fallu dans un premier temps définir les mécanismes et les intensités des instabilités potentielles à partir de la connaissance des travaux souterrains et des évènements répertoriés qui se sont produits pendant et après l'exploitation de la mine.

La probabilité de survenance de nouvelles instabilités a ensuite été évaluée à partir des mêmes éléments et a permis de définir des zones homogènes d'aléa de même niveau.

1.3. LIMITES DE L'ETUDE

La connaissance de l'ancienne exploitation de pyrite de Sain Bel est basée sur un certain nombre de rapports et de plans anciens réunis par le propriétaire actuel (CIM - RHODIA).

Le BRGM n'a pas consulté ces documents et le présent travail se base exclusivement sur le Dossier d'Arrêt Définitif des Travaux établi par le propriétaire ainsi que quelques vérifications de terrain. Le DADT est constitué des pièces suivantes :

- **Pièce n°1 : Présentation du dossier**
- **Pièce n°2 : Dossier de plans**
Plans mentionnés au 1er alinéa de l'article 43 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006. Ces plans sont informatisés au format AutoCAD (CD-rom joint au dossier) et géoréférencés dans le système Lambert.
- **Pièce n°3 : Mémoire d'exploitation**
Mémoire exposant, outre les méthodes d'exploitation utilisées, les mesures déjà prises et celles envisagées pour l'application des dispositions du deuxième alinéa de l'article 91 du code minier conformément à l'article 43 du chapitre V du décret n°2006-649 du 2 juin 2006.
- **Pièce n°4 : Bilan des effets sur les eaux**
Bilan, prévu par le quatrième alinéa de l'article 91 du code minier, relatif aux effets, sur les eaux de toute nature, des travaux et de leur arrêt.
- **Pièce n°5 : Etude des aléas**
Etude ayant pour objet de déterminer si des risques importants, notamment ceux mentionnés à l'article 93 du code minier, subsisteront après le donné acte mentionné au neuvième alinéa de l'article 91 du code minier.
- **Pièce n°6 : Récapitulatif des installations de surface**
Récapitulatif, mentionné au 6ème alinéa de l'article 43 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006, relatif d'une part, aux installations dont l'exploitation minière a cessé avant que leur arrêt ne soit soumis à procédure, d'autre part, aux travaux et installations ayant précédemment fait l'objet de la procédure d'arrêt prévue par le code minier.
- **Pièce n°7 : Lettre d'information concernant l'installation hydraulique de sécurité**
Lettre d'information mentionnée au 7ème alinéa de l'article 43 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 ainsi que le document mentionné aux articles 92 et 93 du code minier conformément à l'arrêté du 23 août 2005.
- **Pièce n°8 : Liste des archives**
- **Pièce n°9 : Historique administratif**

2. Contexte

2.1. CONTEXTE GENERAL DU GISEMENT DE PYRITE

2.1.1. Situation géographique

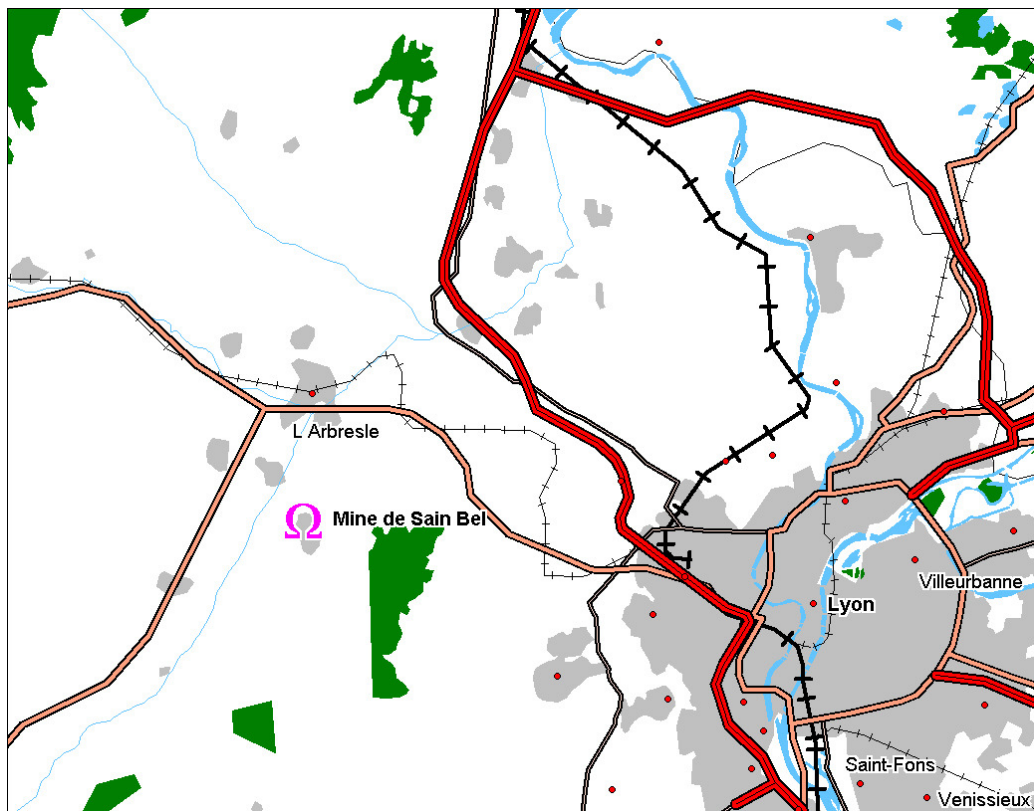


illustration 1 - Plan de situation de la Mine de Sain Bel par rapport à l'agglomération de Lyon

La commune de Sain Bel est située à 20 km à l'Ouest de l'agglomération de Lyon (illustration 1), dans le massif hercynien des Monts du lyonnais (Massif Central). Le périmètre de concession (datant de 1919) concerne d'autres communes avoisinantes (illustration 2).

Quant au gisement de pyrite, il a été exploité sous les communes de Chevinais, Saint Pierre-la-Palud et Sourcieux-les-Mines, sur la rive droite de la Brévenne.

Il est composé de plusieurs mines (la Mine de Pyrite de fer, les Vieilles Mines, la Mine du Pilon, la Mine du Gervais et de Silice - illustration 3) auxquelles s'ajoutent des puits et galeries de recherches qui n'ont pas donné lieu à des exploitations.

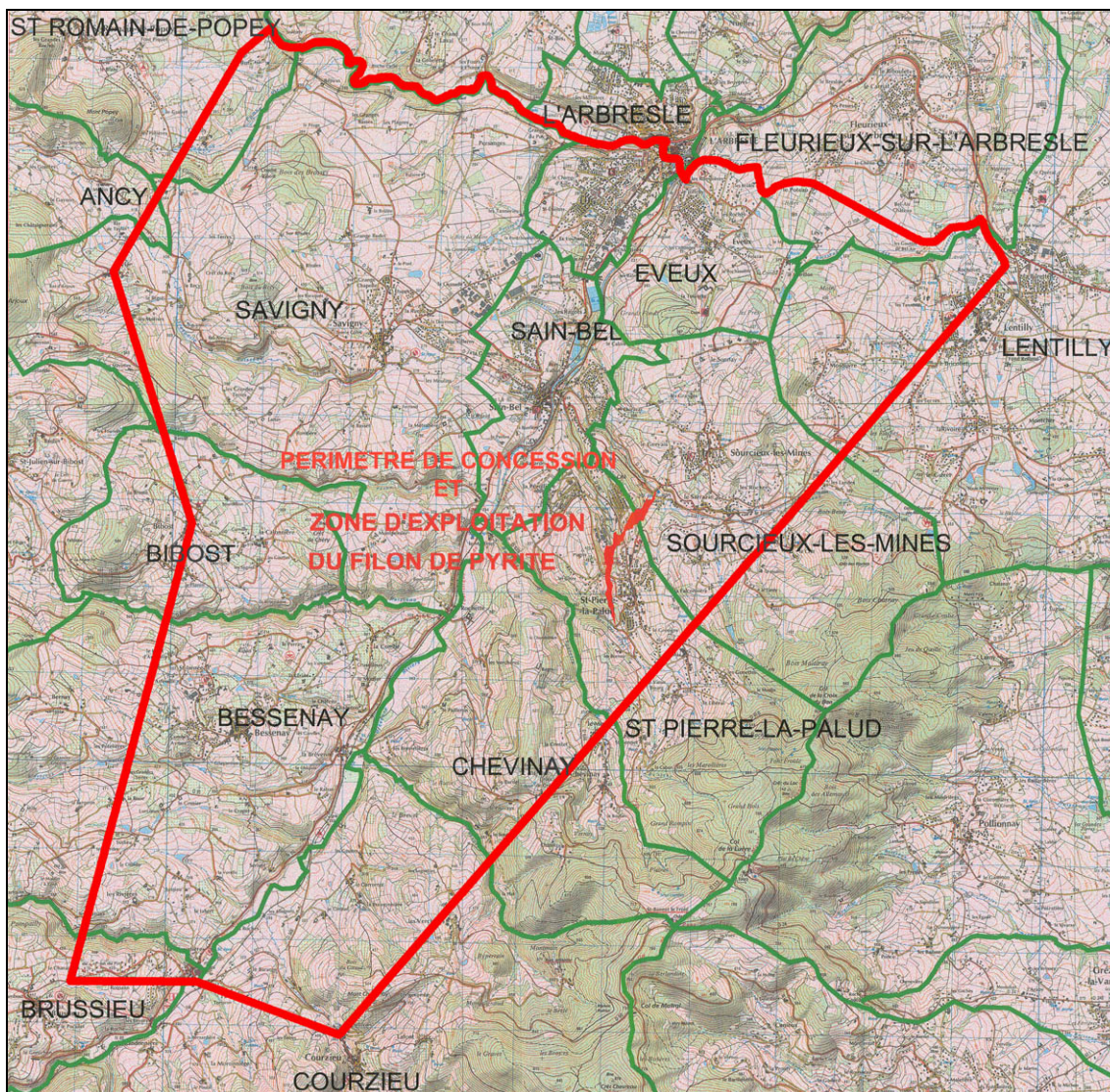


illustration 2 - Plan de bornage de la concession, décret du 20 janvier 1919
(source DADT, © scan25 IGN)

2.1.2. Contexte géologie

a) Description

Le gisement des Mines de Sain Bel est formé de filons et amas de pyrites d'orientation générale Nord/Sud et de pendage Ouest. Il est inclus dans des micaschistes amphiboliques ou « cornes vertes » et en stratifications concordantes.

Au contact des filons, soit sur une vingtaine de mètres au plus à l'Ouest et plus de 300 m à l'Est, ces cornes sont remplacées par des schistes blancs argileux ou talqueux parfois chloriteux et souvent quartzeux. Les masses minérales arrivent,

généralement, au jour à l'état oxydé (chapeau de fer). La hauteur du chapeau de fer atteint jusqu'à 40 m sur les crêtes isolées. Cette oxydation ne descend généralement pas en dessous du niveau des vallées.

b) Morphologie

La minéralisation de la pyrite dans les micaschistes amphiboliques a conduit généralement à une différenciation cristalophyllienne du gîte. C'est pourquoi dans son ensemble, deux formations parallèles se distinguent :

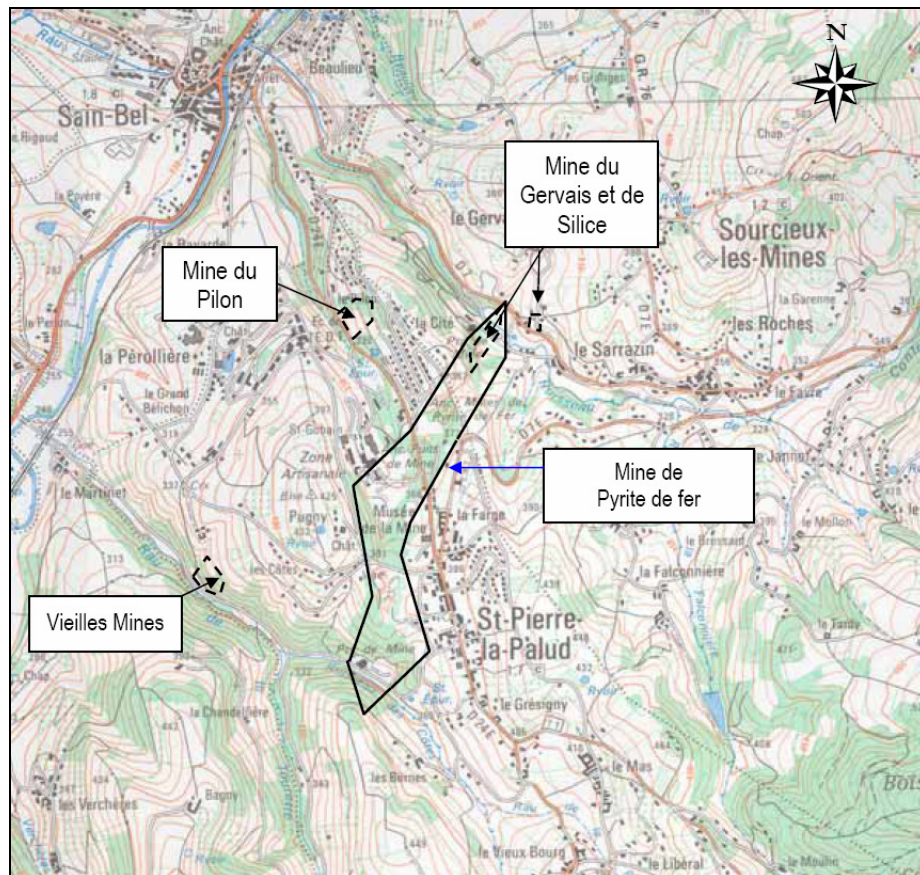


illustration 3 - Positionnement des différentes mines

- **les filons de l'Ouest** formés de pyrite de fer plus ou moins quartzeux ou schisteux et quelquefois de minerais très complexes. Ils sont aussi appelés filons durs du fait de la présence de quartz et de minéraux accessoires. Ces minerais renferment de la blende, de la galène et de la pyrite cuivreuse noyées à l'état de grains très petits dans une gangue de quartz et de barytine en proportion variable.

Les minerais complexes se trouvent surtout dans la région nord du gisement (filons AVANT LE CONTOUR) tandis que dans la région sud, le minerai des filons Ouest est principalement quartzeux (lentille St-ANTOINE). Dans la région

centrale, la formation ouest est moins complexe et moins quartzeuse ; certaines parties donnent des pyrites riches assez pures.

Les filons Ouest ont un pendage moyen de 80° ouest et une puissance variable de 2 à 20 mètres, toutefois, la puissance exploitable n'est jamais importante (4 à 5 mètres).

- **les filons de l'Est** forment des amas de pyrite de fer à 48-50 % de soufre sans cuivre. Ils sont inclus dans des chloritochistes, souvent divisés par des intercalations schisteuses plus ou moins épaisses.

Leur morphologie se présente ainsi sous forme d'amas aux contours très irréguliers qui s'épanouissent à certains niveaux, en se ramifiant et s'appointant quelquefois assez rapidement.

Les filons de l'Est, au contraire des filons de l'Ouest, ont parfois une puissance atteignant 30 voire même 50 mètres.

c) Tectonique

D'un point de vue structural, l'ensemble du gisement est découpé par des failles qui délimitent des panneaux d'une centaine de mètres de longueur.

Certaines failles ont occasionné d'importants rejets du gîte de l'Ouest vers l'Est. Les principales sont les failles du Puits des Croix, du Puits St-Gobain et les failles du Contour. Elles ont aussi donné lieu à des déplacements verticaux plus difficiles à constater qui sont signalés par les changements d'épaisseur du gîte et les différences de nature du minerai.

Aussi, le gisement a été déformé et divisé en lentilles par un grand nombre de failles ; ces filons et lentilles (cf Carte informative) ont reçu différents noms (pour les principaux : filons AVANT LE CONTOUR, APRES LE CONTOUR, lentilles St-GOBAIN, GRAND FILON et St-ANTOINE,...).

2.2. DESCRIPTION DE LA MINE DE SAIN BEL

2.2.1. Historique administratif

a) Le titre minier

Les propriétaires de la mine de Sain Bel sont connus depuis 1430, année où Jacques Coeur, argentier du roi Charles VII, reprend l'exploitation des mines du lyonnais (La notice de PAILLY de 1900 – archivée à la CIM - retrace en effet la succession des différents propriétaires).

La concession de cuivre, plomb, sulfate de cuivre et de fer de Sain Bel a été instituée par l'arrêté du Directoire exécutif du 14 messidor an 7 [25 juin 1798] modifiant l'arrêté originel du 22 fructidor an 6 relatif à la concession de Sain Bel et de Chessy

[mentionnant les périmètres originels respectifs des concessions au profit du citoyen BLANCHET, ses héritiers ou ayant cause)].

En 1839, la famille PERRET acquiert la concession de Sain Bel et de Chessy.

En 1870, la famille PERRET vend la mine et ses installations à la société Manufacture de glace et de produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey.

Puis, le décret du 20/01/1919 a réduit le périmètre de la concession de 90 km² 43 ha à 67 km² 05 ha.

Le décret du 06/08/1963 (JO du 11/08/1963) a autorisé la mutation à la société Produits Chimiques Pechiney Saint-Gobain (P.S.G) devenue ultérieurement en 1972 Rhône-Progil.

Le décret du 24/11/1975 (JO du 27/11/1975) a autorisé autorisant la mutation à la société Compagnie Industrielle et Minière (CIM), à l'époque filiale du groupe Rhône-Poulenc lequel fut scindé en 1998/99 en deux sociétés distinctes (la branche pharmaceutique se retrouvant sous l'enseigne AVENTIS [union Rhône-Poulenc et Hoescht] et la branche chimique constituant le groupe RHODIA. La CIM appartient actuellement à 100 % au groupe RHODIA.

La CIM est le concessionnaire actuel de la mine de Sain Bel jusqu'à expiration de son titre minier au 31/12/2018 en application de l'article 29-IV du code minier.

b) Abandon dans la concession

La CIM a remis plusieurs dossiers d'abandon partiel de travaux miniers et/ou procédures de fermeture des orifices au jour. D'après les archives disponibles à la CIM, l'état d'avancement de ces procédures est récapitulé dans le tableau de l'illustration 4.

Les ouvrages qu'il reste à abandonner sont :

- la fendue du puits Nord en tant qu'orifice minier,
- l'installation hydraulique de sécurité (du point de captage des eaux de la mine aux bassins),
- l'ensemble des installations de surface (cf. pièce n°6 relative aux installations de surface).

c) Abandon hors de la concession

Les différentes recherches hors de la concession de Sain Bel ont fait l'objet d'un dossier d'abandon et/ou procédure de fermeture par la CIM (illustration 5). Ce dossier a été validé par l'Administration.

Le 4 août 1985 (JO n°8959), la CIM et COMINCO ont obtenu un permis de recherche dit « permis de Sain Bel Nord » l'autorisant à prospecter la région. Ce permis a été

accordé sur le même principe que celui demandé le 15 avril 1985, par le BRGM pour la concession de Chessy (permis de recherche dit « permis de l'Arbresle »).

<u>Date de dépôt de dossier (objet de la demande CIM)</u>	<u>Procédure administrative</u>
27 juin 1972 (demande de déclaration d'abandon des travaux miniers) complétée le : 11 juillet 1978 (dossier technique de mise en sécurité)	→ 6 décembre 1978 (donné acte par lettre de la DRIRE de l'abandon de 62 ouvrages dont 39 puits et 18 galeries: liste en annexe de l'arrêté préfectoral)
23 juin 1987 (demande de déclaration d'abandon partiel des travaux miniers de la mine de Sain Bel) complétée le : 31 juillet 1987, 11 septembre 1987 et 20 janvier 1988.	→ 9 novembre 1987 (Arrêté préfectoral prescrivant les travaux à exécuter avant l'abandon partiel du puits Perret et de ses annexes) ↘ 11 mai 1988 (Arrêté préfectoral prescrivant les travaux à exécuter avant l'abandon partiel du puits Travers, de la fendue Perret et de la galerie 115) ↘ 24 novembre 1989 (Arrêté préfectoral donnant acte de la déclaration d'abandon partiel des travaux miniers de la mine de Sain Bel)
29 novembre 1989 (demande de déclaration d'abandon du puits Nord joint au dossier technique)	→ 17 mai 1990 (Arrêté préfectoral prescrivant les travaux à exécuter avant l'abandon du puits Nord) ↘ 1 septembre 1999 (Arrêté préfectoral donnant acte de la déclaration d'abandon du puits Nord)

illustration 4 - Récapitulatif des procédures et des actes administratifs d'abandon des travaux miniers, dans la concession de Sain Bel

<u>Date de dépôt de dossier (objet de la demande CIM)</u>	<u>Procédure administrative</u>
29 mai 1979 et 20 juillet 1979 (dossier technique d'abandon des anciens travaux miniers des anciennes exploitations hors concession)	→ 4 octobre 1979 (donné acte par lettre de la DRIRE)

illustration 5 - Récapitulatif des procédures et des actes administratifs d'abandon des travaux miniers, situés dans le département du Rhône et à l'extérieur de la concession de Sain Bel

2.2.2. Historique d'exploitation

L'historique des mines de Sain Bel se divise en deux périodes selon la vocation du minerai :

- 1^{ère} période de l'Antiquité jusqu'à 1833 : l'exploitation de la mine intéresse essentiellement les métaux ferreux et non ferreux tel que le Cuivre,
- 2^{ème} période à partir de 1833 jusqu'à 1972 (arrêt de la mine) : la découverte du procédé de grillage de la pyrite permet d'extraire le soufre du minerai. Ce soufre, comme élément natif sert pour la production d'acide sulfurique.

a) Mines de Cuivre : de l'Antiquité à la Révolution Française

Dès la plus haute Antiquité, toute la région autour de Sain Bel fut activement exploitée et les Gaulois en retiraient déjà le Plomb et le Cuivre.

Les Romains paraissent avoir développé surtout l'extraction du Cuivre qu'ils obtenaient par traitement des pyrites cuivreuses.

Ensuite au Moyen-Âge, seuls les filons de Cuivre ont été exploités. La mine a connu, au cours de ces siècles, des fluctuations diverses, des alternatives de prospérité et de mises en sommeil.

b) Mines de Pyrite : depuis la Révolution Française à 1972

De 1780 à 1842, ces exploitations traversèrent différentes périodes, tantôt prospères, tantôt difficiles. La date-clé concerne l'année 1833, caractérisée par l'invention des frères PERRET, du procédé permettant d'obtenir de l'acide sulfurique par le grillage des pyrites. Ce procédé fait l'objet d'essais et des mises au point sur quelques années après 1833. L'exploitation de la pyrite à des fins chimiques (utilisation du soufre) devient effective à partir des années 1840 :

- En 1839 ou 1842 (selon les textes), les mines furent acquises par la famille PERRET. Dès 1860, on s'applique surtout à extraire la pyrite de fer non cuivreuse (le Cuivre étant considéré comme une impureté à ce stade).
- En 1872, la Compagnie SAINT GOBAIN fusionne avec la Maison PERRET Frères et OLIVIER. Cette fusion permet un essor considérable de la mine. A partir de cette date et en corollaire avec l'apparition de la dynamite en 1871, des travaux étendent l'emprise du réseau minier (lequel présente en 1903 la quasi-totalité du réseau final de 1972).

Cette période correspond à la phase la plus productive (illustration 6). L'extraction totale, de 1825 à 1972 est de l'ordre de 18,4 millions de tonnes.

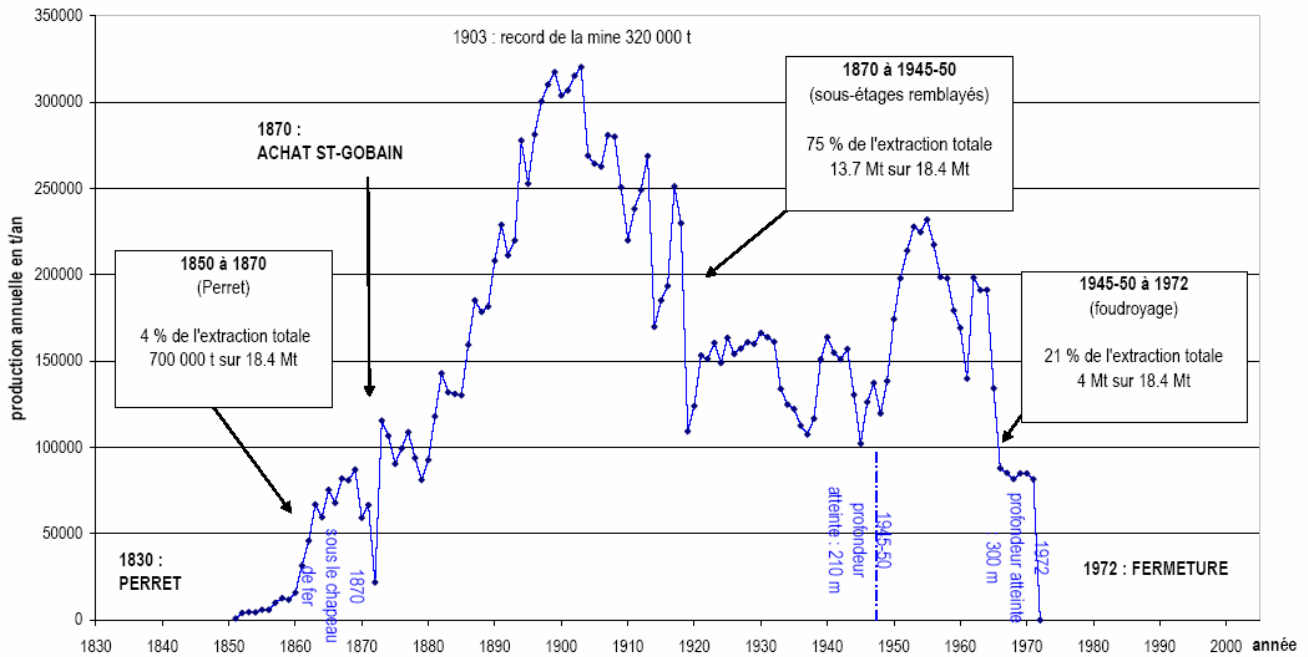


illustration 6 - Extraction de pyrite de fer, Mine de Sain Bel

2.2.3. Méthodes d'exploitation

Avant 1870, aucune information ne nous permet de définir la ou les méthode(s) d'exploitation utilisée(s). Une exploitation « archaïque » par puits et galerie est envisageable d'après la seule coupe de travaux disponible.

Pour la période récente de l'exploitation, deux techniques principales se distinguent :

- La plus ancienne (figurant sur les plans de 1892) correspond à la méthode des sous-étages descendants en deux tranches montantes, avec remblai complet.
- La méthode généralement utilisée depuis 1950 est celle des tranches unidescendantes foudroyées.

Ponctuellement, les mineurs ont utilisé d'autres méthodes, et notamment la méthode de l'unimontante remblayée.

a) Méthode des sous-étages descendants de deux tranches montantes

Il s'agit de l'ancienne méthode employée de 1870 à 1950 environ.

Le travail consiste à exploiter la lentille par la partie supérieure et à descendre progressivement de sous-étage en sous-étage qui correspond à des hauteurs de 5 m après défruitage du haut.

Au niveau d'un sous-étage, l'extraction a lieu dans deux tranches superposées de 2,5 m de hauteur chacune (« deux tranches montantes »). Au niveau d'une tranche, des recoupes (= allée d'extraction de 2 m de large) sont ouvertes de part et d'autre de la galerie de roulage tous les 20 m. Les recoupes conduisent à tirer le minerai par abattage de front jusqu'à rencontrer les épontes.

Après extraction complète du minerai d'une recoupe, le travail reprend de part et d'autre : une taille à droite et une taille à gauche correspondent aux nouveaux emprunts. Au fur et à mesure les recoupes s'étendent latéralement pour intéresser la totalité de la lentille.

Dans le même temps, pour éviter d'étayer toute la tranche déjà vidée, chaque recoupe fait l'objet d'un remblayage par des matériaux inertes (marin). Le chantier alterne alors une recoupe en abattage et une recoupe en remblayage (méthode dite « avec remblais des deux tranches »). Généralement ces recoupes atteignent quelques mètres de longueur et dessinent alors des petits quartiers perpendiculaires à la galerie de roulage.

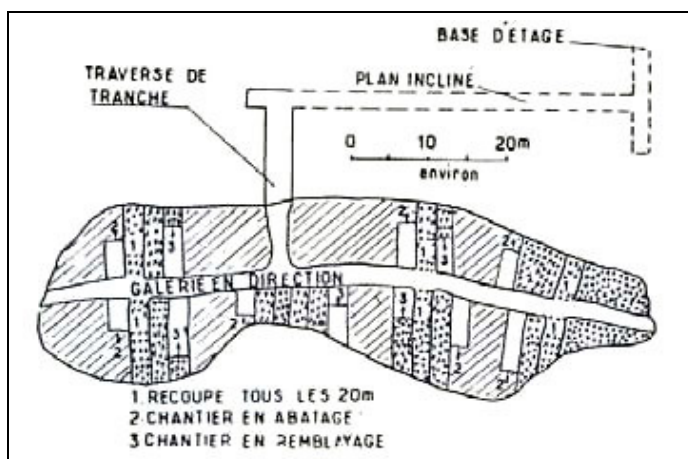


illustration 7 - Plan d'aménagement d'une tranche suivant la méthode des sous-étages descendants de deux tranches montantes

Cette technique est remarquable surtout au niveau du Grand Filon où 36 sous-étages ont ainsi été réalisés. La profondeur atteinte est importante (de l'ordre de 150 m de hauteur d'extraction). Durant cette période, l'ensemble des travaux miniers (perforation, chargement, roulage, remblayage) se faisait à la main.

Notons qu'un plan de 1889 atteste que les affaissements en surface peuvent atteindre jusqu'à 4 m (cf § 3.2.1), démontrant que le remblayage n'est pas aussi complet que les archives le décrivent.

b) Méthode des tranches unidescendantes foudroyées

C'est la méthode généralement utilisée depuis 1950.

L'emploi de cette méthode s'explique du fait :

- de l'abandon du remblayage,
- d'un gain de rendement,
- d'une relative maîtrise des pressions.

En outre, la mise en œuvre de cette méthode nécessite au préalable la recherche des concentrations (afin de foudroyer les zones non productives) et la mise en œuvre d'un chargement mécanisé (afin d'assurer le déblaiement d'une plus grande quantité de minerai abattu). Cette technique coïncide ainsi avec l'apparition du dynamitage à retard et d'un chargement par pelle mécanique.

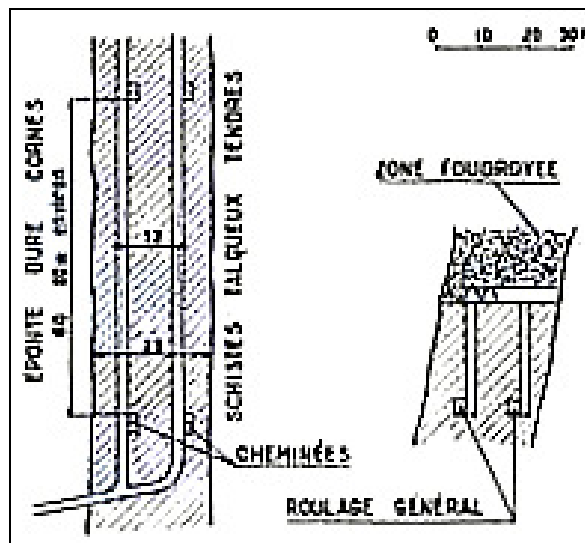


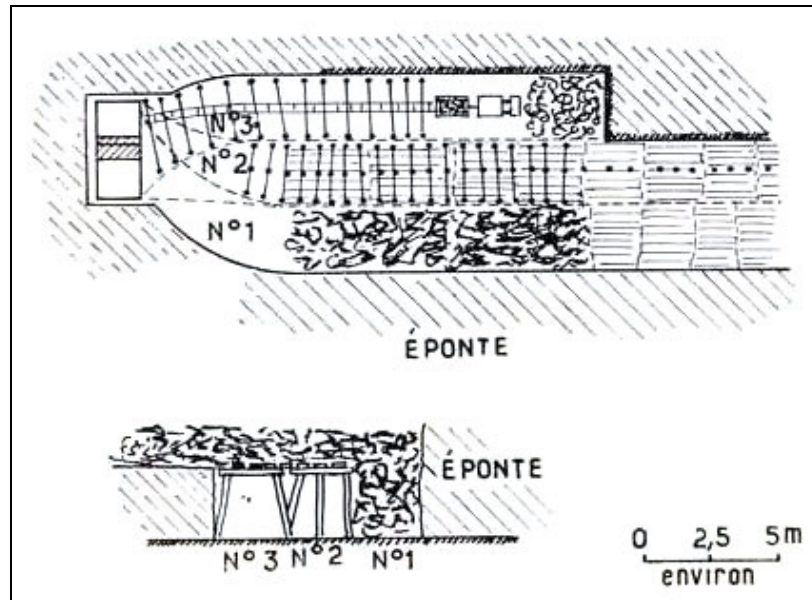
illustration 8 - Schéma d'aménagement général suivant la méthode des tranches unidescendantes foudroyées

L'exploitation (illustration 8) consiste donc à acheminer le minerai depuis les tranches jusqu'au niveau d'étage par des cheminées verticales (rolls ou faux-puits) qui servent en même temps d'accumulateurs. Ces cheminées verticales boisées possèdent deux compartiments, l'un pour l'accumulation et la descente des produits, l'autre pour la circulation du personnel, des bois, du matériel et le passage des tuyauteries. Certaines de ces cheminées servent d'entrée d'air, d'autres de retour d'air.

La tranche s'exploite alors longitudinalement (pas de système de recoupe) : les quartiers se présentent sous la forme de grandes bandes rejoignant la cheminée ; les quartiers sont aussi plus larges que les tailles de l'ancienne méthode (3 m de large) et plus hautes (2,75 m de haut).

L'extraction a donc lieu dans le sens de la longueur du filon. L'emprunt est d'abord pris à partir de la cheminée en longeant l'éponte (la moins stable en général), puis comme dans l'ancienne méthode, l'exploitation se décale parallèlement à la galerie ouverte : l'abattage précède le foudroyage.

Le foudroyage (illustration 9) consiste à dépiler, c'est-à-dire à retirer l'étaisage. La couronne (correspondant à ce qu'il y a au-dessus de la tête) s'effondre (le terme de « foudroyage » vient du fait que le terrain lâche à un moment donné). L'exploitation du gisement se fait en descendant, la couronne se constituant d'un matelas entremêlés de bois et de roches.



*illustration 9 - Schéma du foudroyage
suivant la méthode des tranches unidescendantes foudroyées*

c) Méthode de l'unimontante remblayée

La technique consiste à exploiter le filon du bas vers le haut en remblayant chaque tranche prise par du stérile.

Cette méthode de l'unimontante remblayée a été employée ponctuellement soit pour des raisons techniques (éviter les affaissements en surface et la mise en péril des infrastructures, bâtiments,...) soit pour des raisons pratiques (exploitation directement à partir de la galerie de roulage).

Cette technique reste occasionnelle car sa mise en œuvre est plus longue que le foudroyage et elle comporte un coût supplémentaire lié à l'approvisionnement en remblais.

2.2.4. Ennoyage de la mine

Les travaux souterrains sont noyés jusqu'à la cote 292 m NGF. Les eaux de mine sont captées et acheminées dans une conduite d'écoulement enterrée jusqu'à la station de traitement à Sain Bel.

L'ennoyage de la mine contemporaine de pyrite s'est fait en trois temps :

a) 1^{ère} phase

A la fermeture de la mine, l'invasion des eaux du fond jusqu'à la galerie 115 s'effectue naturellement et dure 2,5 ans : du 25 juillet 1972 (arrêt des pompes de refoulement) au 1^{er} janvier 1975. La montée des eaux dans les anciens travaux fait l'objet de relevés piézométriques et d'analyses d'eau d'abord au puits Perret puis au puits Nord (quand l'eau atteint cet ouvrage).

b) 2^{ème} phase

Grâce au serrement équipé de 3 vannes au puits Travers, l'ennoyage des travaux s'effectue de la galerie 115 jusqu'à la cote 292 m NGF. Il s'agissait d'un test pour valider une exhaure au puits Nord et l'absence d'impact sur les cours d'eau. L'ennoyage dure du 1^{er} octobre 1980 au 2 mars 1981. Une période d'observation complémentaire de 3 ans sur les cours d'eau finalise le test.

c) 3^{ème} phase

La galerie 115 est abandonnée définitivement. Les travaux consistent à poser une conduite de subsurface (canalisation d'exhaure), à percer le fût du puits Nord à 292 m NGF (janvier 1983), à réaliser un bouchon en béton armé condamnant définitivement le puits Travers, la galerie 115 et le serrement provisoire équipé de vannes (travaux de 1988).

3. Identification des données informatives

3.1. PLANS MINIERS

3.1.1. La Mine de Pyrite de fer

L'exploitation récente (c'est-à-dire depuis le développement intensif de la mine pyriteuse par St-Gobain, concessionnaire en 1870) a conduit à un défrètement massif sous le chapeau de fer.

A la fermeture de la mine en 1972, le réseau minier s'étend sur 3 km de long pour 200 m de large. Le volume de matériaux extraits s'élève à plus de 18 millions de tonnes, la mine étant en grande partie remblayée. La profondeur maximale des galeries atteint 300 m (par rapport au puits Perret). Les emprunts suivent le pendage naturel des veines de pyrite (globalement sub-vertical à légèrement déversé vers l'Ouest). Suivant les secteurs, l'étendue des défrêtements diffère (en liaison avec la richesse des filons de pyrite). Les panneaux d'exploitation sont vastes dans la région sud (Grand Filon) et plus étriqués dans la région nord (filons d'Après et d'Avant le Contour).

Enfin, l'encaissant se caractérise par une éponte ouest considérée comme l'éponte dure et une éponte est, plus tendre et schistosée (pendage de 45° environ vers l'Ouest). L'ensemble est recoupé par des failles d'orientation NO-SE.

a) *Ouvrages souterrains*

• Réseau de galeries relatif à l'exploitation

L'exploitation récente a conduit à la mise en œuvre d'un nombre considérable de voies de circulation souterraines. Plans, rolls, galeries et travers-bancs s'entremêlent.

La plupart des galeries d'exploitation ont été tracées dans les zones d'extraction de sorte qu'elles ont disparu au moment du foudroyage. Seule l'ossature du réseau profond est probablement restée pérenne grâce à son implantation dans l'éponte dure.

Ces galeries profondes, de section carrée (2.5 m x 2.5 m environ) communiquent avec les étages ayant servi aux extractions. Aucune donnée ne permet de définir leur état.

• Réseau de galeries relatif aux reconnaissances

En ce qui concerne le réseau tracé pour les reconnaissances, celui-ci s'étend latéralement de façon plus ou moins éloigné du réseau minier d'exploitation. Ce réseau, précisément localisé d'après les plans d'exploitation, comprend deux galeries au Sud (reconnaisances entre le puits des Bornes et le puits B), trois galeries au Nord

(reconnaitances entre le puits de la Baudette et le puits A) et une galerie à l'Est (reconnaissance au sud du puits Bibost).

Les galeries de reconnaissances sont aussi de section carrée (2.5 m x 2.5 m environ). Aucune donnée ne permet de définir leur état.

b) Ouvrages en surface

L'inventaire (illustration 10 et illustration 11) des orifices au jour (puits et galeries) sur la mine de pyrite (« mine St-Gobain ») est issu du Dossier d'Arrêt Définitif des Travaux établi par le propriétaire, lui-même issu :

- des fiches établies pour le dossier d'abandon par la CIM en 1978,
- du rapport d'inspection des orifices au jour (rapport DRIRE du 05 oct. 1978) [1^{er} recollement],
- du (des) donné acte de la fermeture des orifices [2^{ème} recollement],
- de la recherche historique et de l'examen des plans disponibles à la CIM [3^{ème} recollement],
- et enfin, de la campagne de terrain effectuée par le propriétaire en 2002 et 2003 [4^{ème} recollement], reconnaissance sur le terrain de la plupart des orifices miniers par positionnement au GPS. L'objectif consistait à obtenir un état des lieux des différents orifices et d'autre part à examiner la pérennité du mode d'obturation des orifices (constat ou non de débouillage ou de manifestations en surface).

La liste est réputée exhaustive et fiable par le propriétaire, à l'exclusion des grattages ancestraux de la région (exemple : exploitation romaine, recherches hors concessions...).

3.1.2. Les anciennes exploitations : les Vieilles Mines, la Mine du Pilon, la Mine du Gervais et de Silice

Les anciennes exploitations comprennent :

- les Vieilles Mines (communes de St-Pierre la Palud et Chevinay),
- le Gervais associé à la mine de silice (communes de St-Pierre la Palud et Sourcieux les Mines),
- le Pilon (communes de St-Pierre la Palud et Sourcieux les Mines).

L'origine de ces exploitations n'est pas clairement déterminée. Des écrits (tels que la note de Pailly, 1900) parlent de « grattage » dans la région du temps des romains et de façon plus certaine, de l'exploitation de ces mines à partir de 1455 (période Jacques Coeur). Les mines sont arrêtées vers 1850.

Au final, les informations relatives à ces mines se limitent au réseau minier et à l'ébauche des emprunts uniquement d'après une coupe transversale. L'emprise horizontale des travaux miniers est indéterminée faute d'archives.

a) Ouvrages souterrains

Les quelques plans disponibles dans les archives de la CIM montrent que :

- le réseau minier s'étend dans un faisceau mince (de l'ordre de 30 m de large pour les trois mines). Aucune recoupe ne s'éloigne des galeries principales.
- les emprunts ne sont pas profonds (profondeur maximum de l'ordre de 100 m pour les trois mines).

La Mine du Gervais et de Silice a été découverte à l'occasion de l'établissement du Dossier d'Arrêt Définitif des Travaux établi par le propriétaire, grâce à la recherche historique et documentaire. Elles n'avaient pas été déclarées dans le dossier de fermeture en 1978.

La Mine du Gervais est positionnée sur un plan de synthèse, établi en 1969 par un géologue de la mine M. BARBE. Ce plan est corrigé d'une rotation de 20° vers l'Est autour du puits du Gervais, compte tenu d'un certain nombre d'éléments mentionnés dans le DADT.

La Mine de Silice est positionnée uniquement à partir de la Mine du Gervais sur un plan synthétique de 1839. Il n'existe aucune autre information relative à cette mine. Le report du réseau minier s'insère dans une parcelle isolée du patrimoine foncier de la CIM.

b) Ouvrages en surface

L'inventaire (illustration 10 et illustration 11) des orifices au jour (puits et galeries) sur les anciennes exploitations est issu du Dossier d'Arrêt Définitif des Travaux établi par le propriétaire, lui-même issu :

- des fiches établies pour le dossier d'abandon CIM de 1978,
- du rapport d'inspection des orifices au jour (rapport DRIRE du 05 oct. 1978) [1^{er} recollement],
- du donné acte de la fermeture des orifices (6 déc. 1978) [2^{ème} recollement],
- de la recherche historique et de l'examen des plans disponibles à la CIM [3^{ème} recollement],
- et enfin, de la campagne de terrain effectuée par le propriétaire en 2002 et 2003 [4^{ème} recollement], reconnaissance sur le terrain de la plupart des orifices miniers par positionnement au GPS. L'objectif consistait à obtenir un état des lieux des différents orifices et d'autre part à examiner la pérennité du mode d'obturation des orifices (constat ou non de débouillage ou de manifestations en surface).

La liste est réputée exhaustive et fiable par le propriétaire, à l'exclusion des grattages ancestraux de la région. Ainsi, nous ne pouvons pas éliminer totalement la présence d'autres ouvrages non répertoriés.

Désignation	Travaux	Commune	Cote en surface (m NGF)	Cote de fond (m NGF)	Section (m ²)	Mode d'obturation	Coord X (L2E)	Coord Y (L2E)	Etat 2002-2003 (CIM)	Etat 2007 (BRGM)
Puits de Maranges	Recherches	Savigny	388	348		Remblayage sans dalle	774100	2091950	non visible, pas de désordre en surface	
Puits de Savigny n°2	Recherches	Savigny	292	252		Remblayage sans dalle	774100	2091950	non visible, pas de désordre en surface	
Puits de Savigny n°1	Recherches	Savigny	314	274		Remblayage avec dalle	773350	2092400	non visible, pas de désordre en surface	
Puits Caillé	Exhaure	Sain Bel	312			inconnu	776354	2091916	non visible, pas de désordre en surface	
Puits Travers	Exhaure	Sain Bel	274	239		Remblayage avec dalle	776161	2092185	non visible, pas de désordre en surface	
Puits E	Vieilles Mines	Saint Pierre la Palud	294	286		inconnu	775846	2090438	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
Puits F	Vieilles Mines	Saint Pierre la Palud	294	240		inconnu	775849	2090426	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
Puits G	Vieilles Mines	Saint Pierre la Palud	291	213		inconnu	775898	2090384	non visible, pas de désordre en surface	
Puits I	Vieilles Mines	Saint Pierre la Palud	304.5	294		inconnu	775842	2090476	non visible, pas de désordre en surface	
Puits de Recherche n°2	Recherches	Saint Pierre la Palud	390	360	2,00 x 3,00	Remblayage avec dalle	776532	2088987	non visible, pas de désordre en surface	
Puits de Recherche n°1	Recherches	Saint Pierre la Palud	410	359	2,00 x 3,00	Remblayage avec dalle	776573	2089095	non visible, pas de désordre en surface	
Puits des Bornes	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	378.88	215.8		Remblayage sans dalle	776843	2089583	non visible, pas de désordre en surface	
Puits de Recherche n°3	Recherches	Saint Pierre la Palud	365			Remblayage sans dalle	776889	2089576	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
Puits de Recherche n°4	Recherches	Saint Pierre la Palud	355			Remblayage sans dalle	776912	2089599	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
Puits B	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	341.65		2,20 x 1,10	Remblayage sans dalle	776706	2089910	non visible, pas de désordre en surface	
Puits Saint-Antoine	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	347.17	215.8		Remblayage sans dalle	776702	2090019	non visible, pas de désordre en surface	
Puits de Broglie	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	325	175	3,30 x 3,30	Remblayage avec dalle	776529	2090101	visible, pas de désordre en surface	visible, pas de désordre en surface
Puits d'aérage	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	353.75	336.75	3,50 x 2,50	Remblayage avec dalle	776701	2090080	non visible, pas de désordre en surface	
Puits des Granges	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	383	293	3,50 x 3,50	Remblayage sans dalle	776659	2090221	visible, fontis ancien	visible, fontis ancien
1er Puits Mortier	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud				Effondré	776623	2090413	Disparu du temps des Perret	non visible, pas de désordre en surface
2ème Puits Mortier	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	402.1	330.36	3,00 x 3,00	Remblayage sans dalle	776649	2090417	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
Puits Jacquemet	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud				Effondré	776584	2090604	Disparu du temps des Perret	
Puits Bibost	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	383.5	261.5		Remblayage sans dalle	776632	2090674	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
Puits Perret	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	370.51	69.96	3,50 x 3,50	Remblayage avec dalle	776536	2090968	visible, pas de désordre en surface	visible, pas de désordre en surface
1er Puits des Croix	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	357.8	298.5	2,00 x 2,00	Remblayage sans dalle	776882	2090903	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
2ème Puits des Croix	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	356.5	267.1	3,50 x 1,20	Remblayage sans dalle	776647	2090902	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
Puits Saint-Gobain	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	367.64	141.66	3,20 x 3,20	Remblayage avec dalle	776794	2091055	non visible, pas de désordre en surface	
Puits Regny	Recherches	Saint Pierre la Palud	365	329	3,00 x 1,50	Remblayage sans dalle	776155	2091162	visible, pas de désordre en surface	privé
Puits Regny Bis	Recherches	Saint Pierre la Palud	365	329		Remblayage sans dalle	775993	2091055	visible, fontis ancien	privé
2ème Puits du Pilon	Mine du Pilon	Saint Pierre la Palud	350	250		Remblayage avec dalle	776568	2091557	non visible, pas de désordre en surface	
1er Puits du Pilon	Mine du Pilon	Saint Pierre la Palud				Effondré	776568	2091557	Disparu du temps des Perret	
Puits des Ronzes	Mine du Pilon	Saint Pierre la Palud	350	250		Remblayage avec dalle	776493	2091582	non visible, pas de désordre en surface	
Puits du Jour	Mine du Pilon	Saint Pierre la Palud	353	333	3,50 x 2,00	Remblayage sans dalle	776558	2091693	non visible, pas de désordre en surface	
Puits de la Machine	Mine du Pilon	Saint Pierre la Palud	324	270	4,00 x 2,00	Remblayage sans dalle	776509	2091531	non visible, pas de désordre en surface	
Puits de la Mine Blanche	Mine du Pilon	Saint Pierre la Palud	324.77		2,00 x 1,00	Remblayage sans dalle	776498	2091556	non visible, pas de désordre en surface	
Puits Nord	Mine Saint-Gobain	Sourcieux les Mines	309.62	173.75	3,30 x 3,30	Remblayage avec dalle	776989	2091545	visible, pas de désordre en surface	visible, pas de désordre en surface
Puits Neuf	Mine Saint-Gobain	Sourcieux les Mines	314.03	187.5	3,00 x 1,50	Remblayage avec dalle	777091	2091432	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
Puits A	Mine Saint-Gobain	Sourcieux les Mines	360.83	245.83	4,00 x 2,00	Remblayage sans dalle	777282	2092095	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
Puits de la Baudette	Mine Saint-Gobain	Sourcieux les Mines	368.83	288.44		Remblayage sans dalle	777491	2091708	non visible, pas de désordre en surface	privé
Puits de Charbonnière	Recherches	Sourcieux les Mines	391	349.8	1,20 x 1,20	Remblayage sans dalle	777776	2092579	non visible, pas de désordre en surface	
Puits du Pré	Mine du Gervais	Sourcieux les Mines	298	276		Remblayage sans dalle	777014	2091572	non visible, pas de désordre en surface	
Puits Vieux (Puits de la Machine de Sourcieux)	Mine Saint-Gobain	Sourcieux les Mines	314.05	248.47	3,00 x 1,50	Remblayage sans dalle	777007	2091511	non visible, pas de désordre en surface	
Puits du Jour	Mine du Gervais	Sourcieux les Mines	335	276		Remblayage sans dalle	776994	2091432	non visible, pas de désordre en surface	
2ème Puits du Gervais	Mine du Gervais	Sourcieux les Mines	306	249	3,00 x 1,50	Remblayage sans dalle	777078	2091667	non visible, pas de désordre en surface	
Ancien Puits Gervais	Mine du Gervais	Sourcieux les Mines	306	274		Remblayage sans dalle	777064	2091685	non visible, pas de désordre en surface	
Puits du Jour	Mine de Silice	Sourcieux les Mines				inconnu	777235	2091585	Non retrouvé, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface

Illustration 10 - Récapitulatif des orifices du type « puits »

Désignation	Travaux	Commune	Cote en surface (m NGF)	Cote de fond (m NGF)	Section (mxm)	Mode d'obturation	Coord X (L2E)	Coord Y (L2E)	Etat 2002-2003 (CIM)	Etat 2007 (BRGM)
Galerie de Bibost	Recherches	Bibost	340		1.50 x 1.70	Eboulement de l'entrée	773100	2091300	visible, entrée éboulée	
Galerie de Savigny	Recherches	Savigny	302		1.25 x 1.70	Mur à l'entrée	773350	2092370	non visible, pas de désordre en surface	
Galerie AA	Vieilles Mines	Chevinay	330			Eboulement de l'entrée	775796	2090292	visible, entrée éboulée	
Galerie V	Vieilles Mines	Chevinay	300			Eboulement de l'entrée	775842	2090391	visible, entrée éboulée	
Galerie de Bon Vallon	Recherches	Sain Bel	240		1.70 x 1.95	Mur à l'entrée	776834	2092862	visible, pas de désordre en surface	
Galerie d'écoulement inférieur	Exhaure	Sain Bel	242.5		1.70 x 1.00	Mur à l'entrée et remblayée	775980	2092602	visible, pas de désordre en surface	
Galerie d'écoulement supérieur	Exhaure	Sain Bel	244		1.70 x 1.00	Mur à l'entrée et remblayée	776044	2092570	visible, pas de désordre en surface	
Galerie A	Vieilles Mines	Saint Pierre la Palud	294			Eboulement de l'entrée	775842	2090446	non visible, pas de désordre en surface	
Galerie S	Vieilles Mines	Saint Pierre la Palud	305			Eboulement de l'entrée	775835	2090523	non visible, pas de désordre en surface	
Galerie T	Vieilles Mines	Saint Pierre la Palud	302			Eboulement de l'entrée	775811	2090517	non visible, pas de désordre en surface	
Galerie Tt	Vieilles Mines	Saint Pierre la Palud	318		1.50 x 1.50	Mur à l'entrée	775837	2090573	visible et affaisée	visible et affaisée
Galerie des Vieilles Mines (AB324)	Vieilles Mines	Saint Pierre la Palud	296		1.50 x 1.50	Mur à l'entrée	775903	2090396	visible, pas de désordre en surface	visible, pas de désordre en surface
Galerie du Petit Saint-Bonnet	Recherches	Saint Pierre la Palud	373.4			Eboulement de l'entrée	776529	2088978	non visible, pas de désordre en surface	
Fendue du Puits de Broglie	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	321	321	2.5 x 3	Mur à l'entrée	776522	2090092	visible, pas de désordre en surface	visible, pas de désordre en surface
Dynamitière Saint-Antoine	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	357	331.13	1.90 x 2.00	Mur à l'entrée	776500	2090142	visible, pas de désordre en surface	
Galerie de la Goulette (vers le Puits Saint-Antoine)	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	330.59	330	2.90 x 2.50	Eboulement de l'entrée	776702	2090069	non visible, pas de désordre en surface	
Galerie de la Goulette Bis (vers le Puits Broglie)	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	330			Eboulement de l'entrée	776585	2090092	non visible, pas de désordre en surface	
Galerie des affleurements durs	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	336		2.70 x 2.50	Eboulement de l'entrée	776666	2090080	visible, pas de désordre en surface	
Dépôt détonateurs Perret	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	350		1.90 x 2.00	Mur à l'entrée	776524	2090869	visible, pas de désordre en surface	visible, pas de désordre en surface
Dynamitière Perret	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	380	331.13	2.00 x 2.30	Mur à l'entrée	776550	2090941	visible, pas de désordre en surface	
Fendue du Puits Perret	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud				Mur à l'entrée	776543	2090970	visible, pas de désordre en surface	
Descenderie des Croix	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	354.25		2.40 x 2.50	Mur à l'entrée	776605	2090962	non visible, pas de désordre en surface	
Plan des Croix	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	356.6	301		Eboulement de l'entrée	776674	2090880	non visible, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface
Fendue Perret	Mine Saint-Gobain	Saint Pierre la Palud	350.2	264.72	2.40 x 2.50	Remblayage de l'entrée	776551	2091128	non visible, pas de désordre en surface	
Galerie de la Pérolière	Recherches	Saint Pierre la Palud	305		1.70 x 1.50	Eboulement de l'entrée	776295	2091689	non visible, pas de désordre en surface	
Galerie de la Bourette	Recherches	Saint Pierre la Palud	335			Eboulement de l'entrée	776347	2090216	visible, fontis ancien	Non retrouvé
Galerie du Pilon	Mine du Pilon	Saint Pierre la Palud	311.2			Remblayage de l'entrée	776451	2091490	non visible, pas de désordre en surface	
Fendue du Puits Nord	Mine Saint-Gobain	Sourcieux les Mines	305		1.50 x 1.50	accessible (clôturée)	777017	2091568	visible, pas de désordre en surface	
Galerie du Rocher	Recherches	Sourcieux les Mines	290		2.40 x 2.00	Eboulement de l'entrée	776756	2092032	non visible, pas de désordre en surface	
Galerie du Gervais n°2	Recherches	Sourcieux les Mines	290		1.50 x 1.70	Eboulement de l'entrée	776824	2091806	visible, fontis ancien	
Galerie du Jour (vers le Puits Vieux)	Mine du Gervais	Sourcieux les Mines				Effondré	777006	2091504	Disparu dans l'effondrement	
Galerie Saint-Barthélémy (entre le Puits Vieux et le Puits Neuf)	Mine du Gervais	Sourcieux les Mines				Effondré	777051	2091457	Disparu dans l'effondrement	non visible, pas de désordre en surface
Galerie des Estacades (vers le Puits Neuf)	Mine du Gervais	Sourcieux les Mines				Effondré	777094	2091472	Disparu dans l'effondrement	non visible, pas de désordre en surface
Galerie du Gervais n°1	Mine du Gervais	Sourcieux les Mines				inconnu	777011	2091693	Non retrouvé, pas de désordre en surface	
Galerie d'écoulement 1	Mine de Silice	Sourcieux les Mines				inconnu	777188	2091561	Non retrouvé, terrain privé	privé
Galerie d'écoulement 2	Mine de Silice	Sourcieux les Mines				inconnu	777205	2091575	Non retrouvé, pas de désordre en surface	non visible, pas de désordre en surface

illustration 11 - Récapitulatif des orifices hors puits

3.1.3. Autres ouvrages miniers indépendants des exploitations

Il s'agit d'ouvrages souterrains débouchant en surface qui ne sont pas rattachés aux exploitations. Ces ouvrages (illustration 10 et illustration 11) correspondent à des recherches réalisées pendant la période St-Gobain.

D'après quelques indications ponctuelles (illustration 11), les galeries de recherches auraient une section globalement inférieure à celles de la mine Saint-Gobain.

3.2. EVENEMENTS HISTORIQUES EN SURFACE

3.2.1. Désordres en surface

La liste des documents ou/et données historiques sur l'influence des travaux miniers sur la surface est restreinte :

- Plan de 1889 : ce plan témoigne des premiers affaissements plurimétriques du sol (jusqu'à 4 mètres) qui se produisent sur l'ensemble de la zone d'exploitation de la pyrite. L'ouverture des chantiers d'extraction de pyrite conduit donc, très tôt, à des désordres en surface. L'origine de l'affaissement est imputable à l'exploitation intensive de la pyrite de fer. De plus, l'affaissement se met en place à la verticale des travaux miniers. Les lignes de rupture suivent la limite des travaux de l'époque. Les lignes de rupture sont parallèles. Par rapport à l'état topographique actuel où les rejets sont pluridécimétriques, il est certain que l'affaissement s'est poursuivi au cours du temps (depuis 1889 jusqu'à une date indéterminée correspondant au clavage des terrains). Le mécanisme de l'affaissement a été a priori lent et constant (phénomène de subsidence) et n'a pas été brutal (type collapse). Ce point semble confirmer par l'absence dans les écrits anciens d'événement catastrophe.
- Septembre 1925, éboulement de l'orifice du puits A
- Entre 1935 et 1937 mise des maisons sur vérins : maison du directeur (construite en 1880), trois maisons le long de la route reliant Sain Bel à St-Pierre à Palud. Les habitations ayant subi l'influence de l'exploitation souterraine de la pyrite sont peu nombreuses. Ces quatre anciennes constructions minières sont situées du même côté par rapport à l'exploitation (côté oriental au niveau de l'éponte tendre) et dans le même secteur (relativement proche l'une de l'autre). Depuis ce temps, aucune autre habitation n'a été équipée de vérins de sorte que cet effet ponctuel ne s'est pas propagé. Dans ce secteur qui reste limitrophe à la zone d'affaissement, une zone de fragilité a existé. Depuis l'arrêt de la mine, les habitants ne se sont pas manifestés.
- Mai 1965, éboulement de surface correspondant à la tête du faux-puits de la Baudette

- 1969 : écoulement de la maison en bordure de la cité minière, du côté de l'éponte ouest. Les origines minières de cet événement, très peu documenté, ne sont pas attestées.
- 1996 : Effondrement-glissement de la route à proximité du puits Neuf. Le groupe de travail ayant établi le DADT a des incertitudes sur la cause de ce phénomène : effet de versant, influence du Pigeonnier, zone de fragilité de l'encaissant. Cet effet est situé à la limite de la zone d'affaissement de la mine St-Gobain mais ces origines minières sont fortement contestées.
- 1997 : Obturation d'un fontis au Gervais (propriété de M. RAYMOND). Ce fontis pourrait être lié à un objet minier mal identifié : cheminée d'aérage. Ce fontis a été comblé par apport de tout-venant (1,5 m³ environ). Cet événement n'est pas localisé sur la carte informative par manque d'information.
- 2005 : Obturation d'un fontis découvert lors de travaux de pose de canalisation à la verticale de la descenderie des Croix (ZAC Perret). Ce fontis a été comblé par apport de tout-venant (12 m³ environ).
- Pendant l'exploitation de la mine :
 - Dégradation de la maison COQUELIN : cette ancienne maison minière (construite en 1874), encore existante et située à proximité du puits Neuf, a été impactée et détériorée au fur et à mesure de l'exploitation. Cette habitation est aussi à proximité immédiate de la zone d'affaissement. Sa vulnérabilité s'explique d'une part par la présence de travaux miniers conséquents, de faible profondeur et peu distants de l'habitation ; et d'autre part par une instabilité de versant (stockage de remblais sur la bordure et effondrement-glissement de la route en contrebas).
 - Renforcement par équerrage d'une maison de la cité minière (construite vers 1905-1906) à proximité immédiate de la zone d'affaissement.
- D'après des indications de la pièce 5 du DADT, des décrochés et ruptures de pente auraient été observés dans les champs amonts, à l'aplomb des Vieilles Mines. Aucune précision supplémentaire n'est donnée, mais l'investigation de terrain faite par le BRGM relève surtout quelques entrées d'ouvrage éboulées, ce qui pourraient correspondre aux ruptures de pentes évoquées.

3.2.2. Affaissements et remblayage de la zone affaissée

a) Situation

Compte tenu des techniques d'exploitation employées (sous-étages descendants à deux tranches montantes remblayées à la main de 1870 à 1945-50 puis foudroyage durant les 25 dernières années) pour la mine de pyrite, un affaissement en surface s'est produit.

La technique du remblayage a été appliquée sur les 4/5^{ème} de la zone d'exploitation. Le remblayage n'a pas empêché la rupture des terrains mais a réduit l'effet en surface de l'exploitation. Il a également permis de réduire l'effet sur le chantier d'exploitation en participant efficacement au remplissage, au foisonnement et au clavage de la zone située immédiatement au-dessus du chantier. Cette technique équivaut en fait à un foudroyage différé. La technique des sous-étages descendants remblayés a été ensuite remplacée par la technique d'unidescendante foudroyée.

Le foudroyage pratiqué en profondeur a conduit à la « descente » de cette colonne de matériaux en restant au toit du chantier. La technique du foudroyage a accéléré l'effet en surface.

Au final, l'extraction de pyrite a été compensée par un matelas de remblais et de roche foisonnés d'épaisseur d'environ 300 m.

Par ailleurs, l'affaissement a été remblayé en surface, en partie, au Sud (remblai Crouzet) et au Nord (remblai au-dessus d'une décharge au niveau du chemin de la Madone). Ces plateformes en remblais, d'une trentaine de mètres d'épaisseur, présentent par leur nature, l'inconvénient d'un éventuel tassement différentiel des terrains. Ce phénomène est plus géotechnique que minier. La localisation précise de ces secteurs remblayés n'est pas connue. En l'absence de renseignement, on supposera qu'elle coïncide avec la zone influencée par les travaux miniers (« zone bleue » du DADT) dont elle occupe vraisemblablement au moins la moitié de la surface.

b) Suivi

L'influence des travaux souterrains sur la surface a été évaluée grâce à trois campagnes de photographies aériennes (1946, 1971, 1999) ainsi qu'à des plans référencés FSB n°59, 60 et 61 qui indiquent le suivi altimétrique de 175 repères de nivellement installés dans la commune de Saint-Pierre la Palud. Ces mesures couvrent une période de 30 ans, de décembre 1946 à janvier 1977. Au cours de cette période, deux événements remarquables sont à souligner :

- le changement de méthodes d'exploitation (en particulier le foudroyage au dépend du remblayage) entre 1946 et 1955 ;
- et l'arrêt de l'exploitation de la mine de Sain Bel en 1972.

D'après les résultats de ces suivis topographiques relativement complets, on peut donc supposer que l'affaissement a bien eu lieu sur l'intégralité de la mine de pyrite et que les caractéristiques mécaniques du recouvrement (le chapeau de fer) étaient suffisamment faibles pour accompagner rapidement les éboulements souterrains. En extrapolant les courbes de nivellement, le mouvement en surface est aujourd'hui inférieur au millimètre par an.

La ligne de rupture constatée à partir des campagnes de nivellement a permis de délimiter une enveloppe d'influence en surface des travaux miniers (« zone bleue » du DADT), schématisée par l'illustration 12. Les angles du cône d'influence calculés empiriquement ont confirmé la différence de réaction des deux épontes :

- la réaction de l'éponte tendre à l'est, est plus homogène. L'angle moyen constaté est de 30° avec un écart type relativement serré ;
- la réaction de l'éponte dure à l'ouest, est plus contrastée puisque l'angle moyen est de 10° mais avec une dispersion plus grande. Notons la particularité de certains secteurs où cet angle tend vers zéro, voire négatif. Cela confirme la rigidité de l'éponte qui constitue localement des ponts durs au droit de secteur foudroyé n'ayant entraîné d'affaissement en surface.

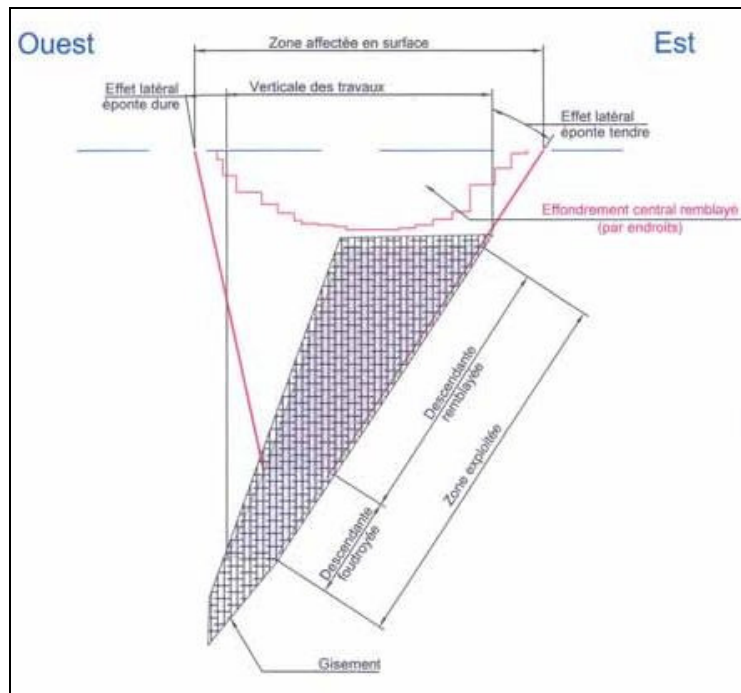


illustration 12 - Schéma conceptuel des manifestations de désordres en surface

Cependant, la présence de désordre de type fissures au-delà de la limite de cette enveloppe empirique, a conduit à envisager que cette zone d'effet en surface puisse s'étendre, notamment plus à l'est. Une enveloppe grossièrement plus large a donc été tracée au nord-est dans le DADT (« zone verte ») que nous avons choisi de prolonger du même ordre de grandeur, au sud-est.

On appellera désormais « zone globale d'influence des travaux », une enveloppe englobant :

- la « zone rouge » du DADT augmentée d'une incertitude de 15 m ;
- la « zone bleue » du DADT ;
- la « zone verte » du DADT, prolongée vers le sud-est.

3.3. CARTE INFORMATIVE

3.3.1. Carte

Pour l'établissement de la carte informative, nous avons utilisé les plans (cadastre compris) fournis par la CIM. En effet, ils sont récents et précis. Sur le terrain nous avons néanmoins procédé à un certain nombre de repérages GPS portable afin de vérifier notamment la validité du calage du cadastre. La carte est présentée à l'échelle 1/2 000, sur fond cadastral.

Les tables MapInfo utilisées, et extraites du fichier dwg AutoCAD fourni par la CIM, sont les suivantes :

- FondPlan : représente le cadastre (limites parcellaires, bâti) ;
- CourbesNiveau : représente les courbes de niveau qui sont, d'après la CIM, extraite de la BD IGN ;
- ConcessionPerimetre : représente les limites de la concession ;
- ReseauMine - pour la Mine de Pyrite de fer, les Vieilles Mines, la Mine du Pilon, la Mine du Gervais et de Silice : représente le réseau de galeries. A noter que pour les réseaux des Vieilles Mines et de la Mine de Pyrite de fer, une colonne renseigne du niveau des galeries.
- ReseauGalerie - pour Bonvallon et Rocher : représente le réseau de galeries non associé aux travaux précédents ;
- ReseauDescenderiesPlansInclines : représente le réseau de descenderies ou de plans inclinés ;
- TerrilPerret : représente l'emprise du terril Perret ;
- Verses : représente l'emprise approximative (tracé terrain BRGM) de plusieurs dépôts miniers observés, notamment à proximité des anciennes mines ;
- DesordresSurface : représente trois désordres (§3.2.1 : puits A, puits de la Baudette et descenderie des Croix) survenus sur des ouvrages miniers. Il est à signaler que le fontis survenu au Gervais en 1997 n'est pas cartographié.
- ZoneEffetsLocalises : représente les six maisons endommagées et affectées par les travaux miniers ;
- ZoneEffetsTravaux (« zone bleue » du DADT) : représente l'emprise de la zone d'affaissement identifié en surface suite aux travaux miniers. Cette zone, fournie par la CIM, est issue de la comparaison de photographies aériennes et d'observations de terrain ;
- ZoneVerticale (« zone rouge » du DADT) - pour la Mine de Pyrite de fer, les Vieilles Mines, la Mine du Pilon, la Mine du Gervais et de Silice : représente l'emprise (à la verticale) des travaux d'exploitation. A noter que pour les anciennes exploitations (Vieilles Mines, Mine du Pilon, Mine du Gervais et de Silice), cette emprise est supposée ;
- Failles : représente les principales failles affectant le gisement ;
- CanalExhaure : représente le cheminement de la canalisation d'exhaure de la mine ;
- Orifices - Puits et HorsPuits : représente l'inventaire des orifices au jour.

A ces tables, on ajoute, la table Gliss qui représente l'emprise approximative (tracé terrain BRGM) du glissement de 1996.

3.3.2. Incertitude cartographique

D'après le DADT, l'ensemble des ouvrages bénéficient d'une incertitude de 15 m. Cette incertitude doit être modulée selon le degré de connaissance vis-à-vis de ces ouvrages.

Il a été décidé d'attribuer une incertitude de 15 m aux ouvrages de la mine Saint-Gobain ainsi qu'à l'enveloppe de ses travaux (« zone rouge » du DADT). En effet, cette exploitation est la plus récente et la majorité des ouvrages sont localisés.

Par contre, les ouvrages et plans des autres mines (Mine du Pilon, les Vieilles Mines, la Mine du Gervais et de Silice) et des ouvrages de recherches bénéficient d'une incertitude plus importante, fixée à 25 m. Rappelons par exemple que la mine de Silice n'a été calée qu'à partir du plan de la mine Saint Gervais, son incertitude pourrait encore être augmentée. Ainsi, les enveloppes de travaux supposés (Gervais, Vieilles-Mines, Pilon), tracées avec une marge à 15 m, ont été augmentées de + 10 m (soit à 25 m), dans une optique sécuritaire.

4. Aléas « mouvements de terrain »

4.1. PRESENTATION DES ALEAS

4.1.1. Phénomène d'effondrement localisé

a) Description

Le phénomène d'effondrement localisé est causé par l'instabilité locale d'une cavité souterraine. Cette instabilité se poursuit au travers des couches situées au dessus et crée de cette manière un cratère en surface. Les matériaux impliqués sont donc déplacés et déstructurés de manière importante. L'illustration 13 présente schématiquement l'évolution de ce type de phénomène en contexte sédimentaire.

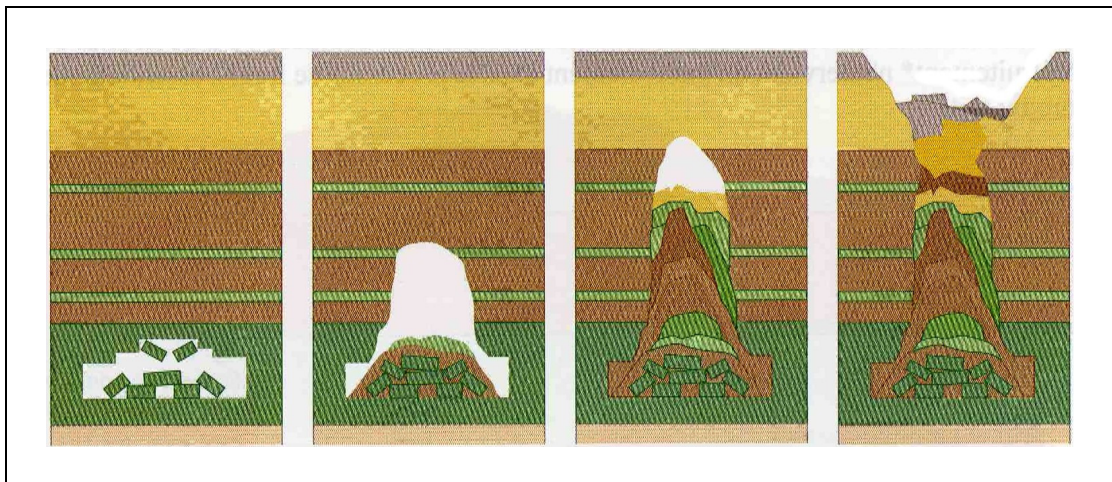


illustration 13 - Schéma de principe d'évolution d'un effondrement localisé (d'après Evaluation des Aléas liés au Cavités Souterraines – LCPC – 2002).

La vitesse de progression du phénomène peut varier en fonction de plusieurs facteurs. Pour analyser la survenance du phénomène et surtout son apparition en surface, deux conditions de progression doivent être analysées :

- La stabilité des cavités qui se créent au cours de la progression du phénomène ;
- La possibilité d'un autocomblement de la cavité du fait de l'augmentation de volume des matériaux entre leur état « en place » et leur état « effondré ». Ce phénomène d'augmentation de volume est aussi appelé foisonnement. L'illustration 14 présente le phénomène dit « d'autocomblement » qui en découle et qui peut stabiliser l'effondrement, empêchant qu'il atteigne la surface.

En général, pour la majorité des massifs, l'altération et la fracturation augmentent lorsqu'on se rapproche de la surface. La stabilité d'une excavation de dimension équivalente est donc souvent moindre lorsqu'on se rapproche de la surface. Toutefois, la présence d'une couche compétente ou ayant des propriétés spécifiques peut conduire à une stabilisation du vide qui progresse vers la surface.

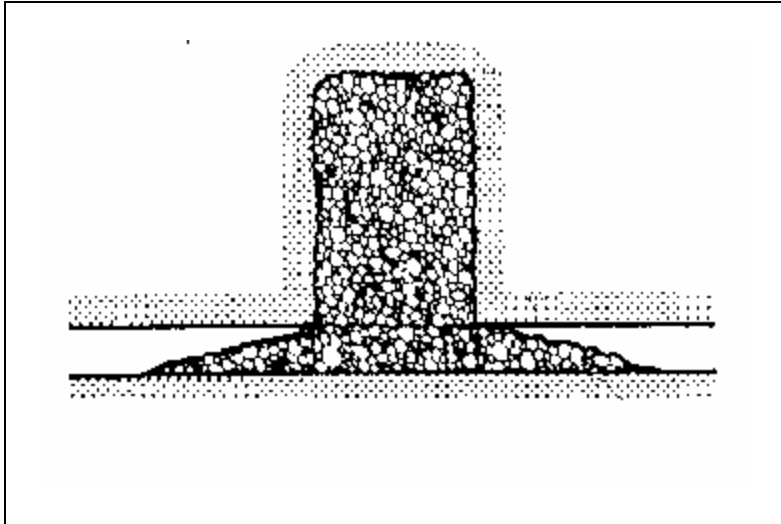


illustration 14 - Fontis «autocomblé» (d'après Bétournay- 2005)

Le foisonnement est un phénomène reconnu des matériaux géologiques. Il n'est cependant ni mesuré de manière systématique et il n'existe aucun standard reconnu pour sa détermination. Le phénomène d'autocomblement est donc difficile à évaluer de manière rigoureuse, mais on admet le plus souvent que la probabilité d'apparition en surface diminue (à cavité de dimension égale) avec la profondeur de cavité. Pour les galeries isolées de dimensions habituelles (de 6 à 12 m² de section droite), les retours d'expérience permettent de définir que la limite d'apparition du fontis en surface se situe autour de 50 m de profondeur pour la cavité initiale. En revanche, des cavités de plus grandes dimensions comme des chantiers non remblayés par exemple, peuvent créer des fontis même si elles sont situées à plus grande profondeur.

S'il existe des approches d'évaluations basées sur l'évaluation naturaliste des coefficients de foisonnement, elles doivent également s'appuyer sur l'observation d'un nombre suffisant d'instabilités souterraines et de surfaces, survenues dans les mêmes conditions géomécaniques pour pouvoir être validées. Les incertitudes, à notre avis trop grandes, sur les conditions géomécaniques réelles, ne permettent pas d'appliquer ces méthodes dans le cas des travaux souterrains présents dans la concession de Sain Bel.

D'une manière générale, les cavités à l'origine des effondrements localisés sont donc représentées par l'ensemble des vides résiduels potentiellement présents dans le sous-sol d'un site minier et notamment :

- les galeries d'accès (travers-banc, traçage, galerie de roulage, galerie de drainage, montage, descenderies, etc.) ;

- les chantiers qui peuvent avoir été laissés ouverts ou qui sont remblayés partiellement ;
- les chambres destinées à l'installation de matériel divers (station de pompage, de concassage, etc.) ;
- les puits d'accès ou d'aérage, bouchés en tête et/ou remblayés partiellement ou imparfaitement.

Le tassement de matériaux de remblais mis en place dans des puits, ou la rupture des matériaux superficiels et/ou d'un soutènement éventuel, peuvent provoquer des effondrements de la surface du sol similaires en surface à des effondrements de galerie ou de chantiers. On parle cependant dans ce cas de débouillage de puits ou de montage pour les instabilités associées à une évolution des remblais.

Les effondrements localisés peuvent être ainsi classés en fonction des excavations à l'origine de leur apparition : galerie, intersection de galerie, chantiers, puits, etc. Cette classification peut-être d'une aide certaine, lorsque pour des raisons techniques, les différentes excavations à l'origine des événements montrent des stabilités contrastées en fonction des différents types de cavités. La dimension et la profondeur relative des excavations laissées ouvertes (vides résiduels) qui sont également directement dépendantes de la fonction de ces excavations (galeries, roulages, chambres, chantiers remblayés ou non) influencent les capacités d'« autocomblement » d'une instabilité progressant vers la surface et donc les aléas associés. Pour permettre un zonage des aléas spécifiques à cette classification, il est donc nécessaire de disposer d'indications précises sur les événements historiques, comme les lieux d'initialisation des instabilités ainsi que la dimension et la géométrie des vides résiduels concernés. La qualité des relevés topographiques de l'ensemble des excavations, la connaissance précise et détaillée des techniques d'exploitation, remblayage, voire de soutènement et l'accès physique ou visuel aux vides résiduels, sont ensuite souvent nécessaires pour tirer parti de cette classification. Ce n'est malheureusement pas le cas pour les excavations souterraines, présentes ou suspectées, dans la concession de Sain Bel.

La méthodologie d'analyse du risque s'appuie sur celle présentée dans le Guide PPRM. En général, l'intensité des effondrements localisés est définie comme la dimension (diamètre) du cône d'effondrement situé en surface. D'après le guide PPRM, on parle d'une :

- intensité faible pour des surfaces concernées inférieures à 8 m² (diamètre inférieur à 3 m) ;
- intensité moyenne pour des surfaces concernées comprises entre 8 et 75 m² (diamètre compris entre 3 et 10 m) ;
- intensité forte pour des surfaces concernées supérieures à 75 m² (diamètre supérieur à 10 m).

L'apparition des effondrements localisés en surface est brutale et n'est pas toujours accompagnée d'indices précurseurs visibles (affaissements visibles de la surface du sol, apparitions de fissures, etc.).

b) Evènements survenus sur le site

Plusieurs effondrements localisés se sont produits (§ 3.2) correspondant à des éboulements de puits, de faux-puits, de cheminée ou de galerie type descendrière.

Par ailleurs, les désordres observés en surface, tels des « décrochés et ruptures de pente dans les champs amonts » (pièce 5 du DADT) laissent suggérer la présence d'effondrements localisés à l'aplomb des Vieilles Mines, couplés à une topographie prononcée.

4.1.2. Phénomène d'effondrement généralisé

a) Description

L'effondrement généralisé se produit lorsque l'ensemble des piliers de soutènement laissés dans une mine se rompent ensemble dans un intervalle de temps très court et produisent en surface un mouvement du sol très brusque (illustration 15).

Ce type d'effondrement n'est généralement possible que pour des mines ou partie de mines situées à moyenne profondeur et pour lesquelles l'extension latérale est suffisante, dans des gisements en plateaux ou faiblement pentés et pour lequel le taux de défrètement est très important.

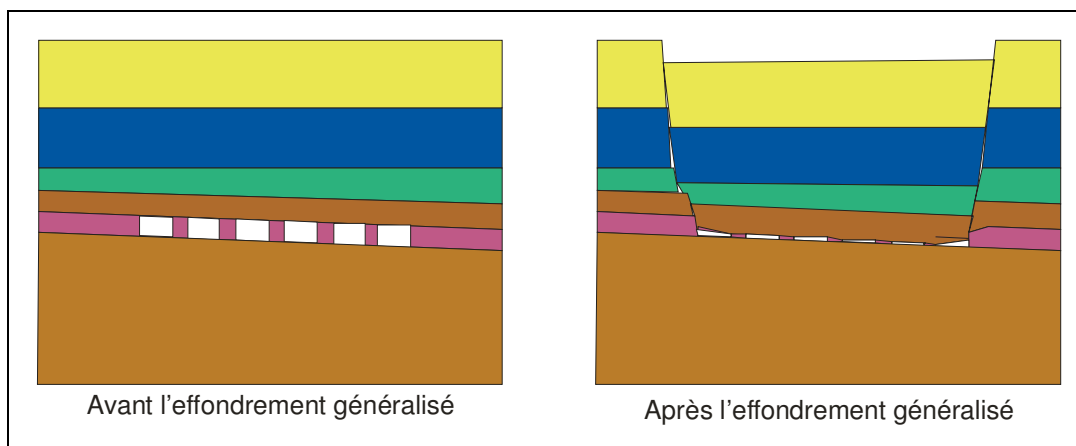


illustration 15 - Principe schématique du mécanisme de l'effondrement généralisé

b) Evènements survenus sur le site

Ce type d'effondrement n'est envisageable que pour des secteurs pour lesquels la présence de vides résiduels est importante. D'après les recherches effectuées dans le cadre de la phase informative, les travaux menés sur la mine de Sain Bel ont été majoritairement remblayés ou foudroyés, ne permettant pas l'apparition d'un effondrement généralisé.

Sur les anciennes mines, la méthode d'exploitation est peu détaillée mais s'apparenterait à une méthode par puits et galeries, ne laissant pas un volume de vides résiduels suffisant. De plus, l'importance du pendage ne permet pas une répartition isotrope des surcontraintes, limitant ainsi la propagation d'une éventuelle rupture.

Le risque d'effondrement généralisé est donc écarté sur la mine de Saint Bel.

4.1.3. Phénomène d'affaissement

a) Description

Le phénomène d'affaissement est à peu près équivalent au phénomène d'effondrement généralisé, mais avec une vitesse des phénomènes en surface beaucoup plus lente. Une évolution progressive et « plastique » des couches situées au-dessus des excavations est observée, à l'échelle du gisement. Ce phénomène est principalement dû à l'évolution du massif géologique au-dessus de la mine, sous l'effet de la modification des contraintes, induites par la mise en place des excavations. Comme pour l'effondrement généralisé, ce mécanisme n'est possible pour des mines ou partie de mines situées à profondeur variable et pour lesquelles l'extension latérale par rapport à la profondeur est suffisante, dans des gisements en plateaux ou faiblement pentés et pour lesquels le taux de défrêtement est élevé. Le cas le plus courant concerne les excavations créées par les tailles auto-foudroyées des mines de charbon. Les affaissements apparaissent dans les jours ou les mois qui suivent l'exploitation et se poursuivent sur plusieurs années. Nous identifierons ce phénomène d'ampleur, comme un « affaissement progressif », à distinguer du phénomène d'« affaissement résiduel », d'ampleur très limité.

b) Evénements survenus sur le site

Les techniques d'exploitation employées sur la mine de pyrite (remblayage manuel de 1870 à 1945-50 puis foudroyage jusqu'en 1972) ont entraîné un abaissement du niveau topographique. Plusieurs dégradations sur des bâtis (cf § 3.2.1) se rattachent à ces événements.

Bien que les suivis topographiques relativement complets laissent suggérer que l'affaissement ait bien eu lieu sur l'intégralité de la mine de pyrite, cet aléa sera évalué plus précisément.

4.1.4. Phénomène de tassement

a) Description

Le phénomène de tassement correspond à un mécanisme bien connu en géotechnique. Il se manifeste par la réduction de volume d'une couche de matériaux, du fait notamment d'une diminution de sa porosité.

Ce phénomène est observé notamment pour les remblais qui sont mis en place sans compactage et qui se tassent au cours du temps souvent sous l'action conjuguée de leurs propres poids et des infiltrations ou migration d'eau à l'intérieur du massif. Les argiles en place ou déplacées peuvent aussi se compacter sous l'action d'une charge extérieure (structures ou remblais) et provoquer des mouvements de la surface du sol.

b) Evènements survenus sur le site

La zone impactée en surface par le foudroyage fut au fur et à mesure remblayé et sans compactage. Sur le terrain, un aspect moutonné (illustration 16) est d'ailleurs observé, témoignant du tassement continu des matériaux.



illustration 16 - Aspect moutonné des terrains de remblais

Le phénomène de tassement est retenu sur le secteur remblayé de la mine de pyrite. Il se superpose au phénomène d'affaissement résiduel, lié au réajustement de terrain suite à l'abaissement de la surface topographique induit par le foudroyage. Cet aléa, dont les effets très limités sont similaires à un tassement en surface, ne sera dès lors, pas étudié plus en détail.

4.1.5. Phénomène d'instabilité de pente

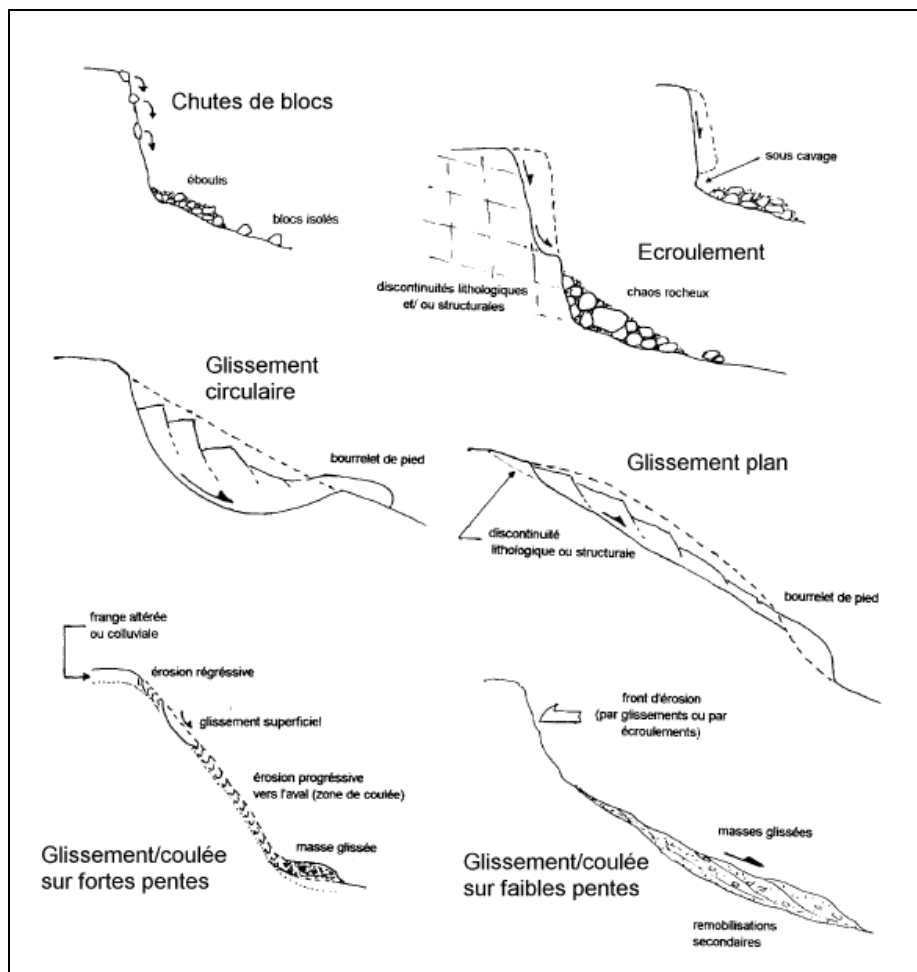


illustration 17 - Représentation schématique de plusieurs types d'instabilités de pentes

a) Description

Les instabilités de pente regroupent plusieurs phénomènes :

- Les glissements de terrain qui concernent principalement les massifs de matériaux meubles ou faiblement cohérents. L'intensité dépend généralement des quantités de matériaux déplacés mais aussi de la profondeur de la surface de glissement. On parlera ainsi de glissement pelliculaire pour les événements ne concernant que la partie la plus superficielle du sol. A l'opposé, on parlera de glissements profonds, pour les événements entaillant profondément (quelquefois plusieurs dizaines de mètres), le versant ou le talus sur lequel ils se produisent. Dans la majorité des cas, la présence d'une nappe dans le talus est un phénomène particulièrement aggravant.

- Les coulées qui sont des glissements superficiels pour lesquels, du fait de leur quasi liquidité, les matériaux peuvent se déplacer sur des très grandes distances ;
- Les effondrements, éboulement, écroulement et les chutes de blocs associées qui concernent plus spécifiquement les falaises et ou talus rocheux.

Les représentations schématiques de l'illustration 17 présentent la plupart des cas discutés plus haut.

b) Evènements survenus sur le site



illustration 18 - Erosion sur les flancs du Terril Perret

En 1996, un glissement est survenu aux coordonnées $X = 777\ 159\text{ m}$, $Y = 2\ 091\ 430\text{ m}$ dans un terrain pentu, en contrebas d'une maison d'habitation et en limite de la zone d'influence de la mine de Saint Gobain. Ce phénomène n'est, a priori, pas lié à la présence de la mine, qui pourrait éventuellement être un facteur déclenchant de second ordre. Une étude spécifique permettrait d'identifier les causes réelles et de localiser les versants aux caractéristiques semblables.

Il est également à signaler des phénomènes d'érosion autour du terril Perret et diverses vers (dépôts miniers). Ces phénomènes localisés sont de faible ampleur. En outre, un projet de réaménagement du site du terril Perret est prévu et comprend d'abaisser la valeur de pente et de recouvrir l'ensemble par de la végétation. Néanmoins, le phénomène de glissement sera retenu sur la mine de Saint Bel.

4.1.6. Phénomène d'inondation

Les phénomènes d'inondation, en particulier une inondation suite au colmatage de la conduite d'écoulement des eaux, n'ont pas été étudiés dans ce présent rapport.

4.2. EVALUATION DES ALEAS

4.2.1. Aléa effondrement localisé

Un aléa effondrement est évalué à l'aplomb de chaque galerie et orifice type puits ainsi qu'à l'aplomb des anciennes mines, à l'exception des éléments situés à l'aplomb de la mine Saint-Gobain (table ZoneVerticaleMinePyrite) puisque les affaissements ont vraisemblablement déjà eu lieu, hypothèse confirmée sur la majorité du secteur exploitée.

La table considérée est AléaEffLoc, englobant l'aléa associé aux orifices type puits, aux galeries et aux travaux souterrains des anciennes mines.

• Effondrement localisé d'orifices type puits :

Si les quelques effondrements recensés (cf § 3.2.1) ne sont pas documentés, ils attestent de la mauvaise tenue des terrains superficiels. Il s'agirait a priori d'évènements d'une intensité faible à moyenne étant donné l'incertitude sur l'épaisseur des terrains déconsolidés. Comme les dimensions des puits sont habituelles, le niveau de prédisposition de l'effondrement localisé envisageable dépend principalement du mode de traitement de chaque ouvrage. Ainsi, la valeur de l'aléa associé dépend du mode d'obturation (illustration 10) :

- Aléa de niveau faible pour un remblayage avec dalle,
- Aléa de niveau moyen pour un remblayage sans dalle,
- Aléa de niveau moyen pour un mode d'obturation inconnu ou un puits effondré.

Compte tenu de la nature du phénomène redouté, le zonage de l'aléa est circulaire, centré sur l'axe du puits et son rayon est égal à 20 m ou 30 m. Cette valeur globale englobe l'incertitude de positionnement de l'ouvrage (15 ou 25 m, cf § 3.3.2) ainsi que l'épaisseur des terrains déconsolidés pouvant influencer sur le diamètre éventuel des effondrements, estimée ici à 5 m compte tenu de la proximité du substratum rocheux.

• Effondrement localisé de galeries :

Un seul événement de ce type a été recensé sur le site (cf § 3.2.1) ; il s'agirait a priori d'évènements d'une intensité faible à moyenne étant donné l'incertitude sur l'épaisseur des terrains déconsolidés.

Comme nous l'avons expliqué dans la partie 4.1.1 de ce rapport, la taille des excavations à l'origine des effondrements localisés et leur profondeur sont des données importantes permettant de quantifier la prédisposition de ce type d'évènement. Pour des galeries de dimensions semblable à celles de la mine de Sain Bel, les retours d'expérience et notre analyse montrent que le risque de remontée d'un

fontis jusqu'en surface peut être écarté, par le processus d'autocomblement, au droit d'une galerie dont la profondeur est supérieure à 50 m. Pour tenir compte de l'influence du processus d'autocomblement avec la profondeur, il a été retenu un niveau de prédisposition moyen jusqu'à 20 m de profondeur seulement étant donné l'absence quasi-général d'événement et la section non excessive des galeries et un niveau faible entre 20 m et 50 m de profondeur.

La valeur de l'aléa associé dépend donc de l'épaisseur du recouvrement :

- Aléa de niveau faible pour un recouvrement compris entre 50 m et 20 m,
- Aléa de niveau moyen pour un recouvrement inférieur à 20 m.

Comme pour les puits, le zonage de l'aléa est centré sur l'axe de la galerie. Pour chaque galerie, le niveau d'aléa est déterminé par l'épaisseur de recouvrement et son rayon est égal à 15 ou 25 m (cf § 3.3.2) correspondant à l'incertitude de positionnement de l'ouvrage, à laquelle on a ajouté, après concaténation du résultat pour l'ensemble des galeries, 5 m pour tenir compte de l'épaisseur des terrains déconsolidés.

Le recouvrement est déterminé entre la cote NGF de la galerie considérée et la cote NGF du terrain naturel (table CourbesNiveau).

On notera qu'au-delà de 50 m de recouvrement, si l'aléa effondrement localisé est écarté, un phénomène de tassement de niveau faible sera retenu, potentiellement engendré par des fontis susceptibles d'avoir été autocomblés avant qu'ils ne soient apparus en surface.

Remarque sur la détermination de la cote des galeries :

La cote de la galerie est déterminée dans la mesure du possible par les cartes fournies dans le DADT (plans et coupes).

Les niveaux sont considérés comme plans et à cote constante. Ainsi l'étage 166 correspond approximativement à la cote 206 m, l'étage 200 à 168 et l'étage Saint Joseph à 285 m.

Pour certaines galeries, l'information est manquante ; il est décidé de considérer :

- Pour les galeries de recherche (dans le DADT, certaines étaient initialement intégrées dans le réseau de la mine de pyrite) : la cote de galerie correspond dans la mesure du possible à la cote NGF de l'entrée associée ou à la cote de fond du puits associé. Ex : galerie du Rocher = cote à 290 m, galerie de BonVallon = cote à 240 m.
- Vieilles Mines : par recoupement, on détermine la cote des différents niveaux grâce à certaines informations recueillies dans le DADT (illustration 19). Ainsi on fixe la cote du niveau 0 du réseau des Vieilles Mines à 293 m NGF. Ceci détermine la cote des différents autres niveaux. Ex : niveau 75 = cote à 218 m.

Puits Vieux. En considérant l'illustration 20, la cote de l'ensemble des galeries est fixée par défaut à 276 m (c'est-à-dire la cote de fond du Puis du Pré), à l'exception de la galerie du Gervais 1 (qui communique avec l'Ancien puits du Gervais et le faux-puits de la Galère) qui est à la cote 298 m).

- Mine du Pilon : en considérant l'illustration 21, la cote de l'ensemble des galeries est fixée par défaut à 286 m, à l'exception de la galerie du Pilon (cote 314 m), la galerie du puits de la mine Blanche (315 m) et la galerie reliant le puits des Ronzes et le faux-puits de Saint-Jean (320 m). La galerie (335 m) reliant le puits du Jour au faux-puits de Bois n'a pas été retrouvée.
- Mine de Pyrite de fer : on ne considère que le réseau à l'extérieur de la zone verticale de la Mine de pyrite (« zone rouge » du DADT). Par recoupement (illustration 22), on fixe la cote du niveau 0 du réseau de la mine de Pyrite de fer à 372 m NGF. Ceci détermine la cote des différents autres étages. Ex : niveau 115 = cote à 257 m.

Etage	Cote de galeries	d'où cote du niveau 0
166	205 m	371 m
200	176 m	376 m
250	124 m	374 m

Puits	Cote en surface
Perret	370 m
Saint-Gobain	368 m

illustration 22 - Informations disponibles dans les tables du DADT

- Réseau de descenderies et plans inclinés : ce réseau est connecté au réseau de la mine de pyrite. La cote attribuée à ces galeries, par définition non planes, est la cote la plus élevée entre les niveaux connectés

• Effondrement localisé de travaux souterrains des anciennes mines :

Des désordres ont été observés à proximité des Vieilles Mines. En ce qui concerne les autres anciennes exploitations, aucun effondrement n'a été repéré à leur aplomb. Par ailleurs, avant 1870, aucune information ne nous permet de définir la méthode d'exploitation utilisée ainsi que l'exhaustivité des plans existants. Une exploitation archaïque par puits et galeries est envisageable d'après les seules coupes de travaux disponibles. L'absence de renseignements nous conduit à supposer la présence de vides résiduels lié aux puits et galeries repérés sur les quelques plans disponibles et à tous les autres ouvrages non repérés et dont la présence est suspectée à l'intérieur de l'enveloppe tracée.

Le niveau de prédisposition est estimé à faible, étant donné l'hypothèse faite sur la présence de vides résiduels. Un aléa effondrement localisé faible est donc attribué aux enveloppes de travaux supposés de la Mine du Pilon, les Vieilles Mines, la Mine du Gervais et de Silice, auxquelles on a ajouté une marge de + 5 m (soit 30 m afin de tenir

de l'incertitude de positionnement évaluée à 25 m et de l'épaisseur des terrains déconsolidés.

4.2.2. Aléa effondrement généralisé

Néant.

4.2.3. Aléa affaissement

Les techniques d'exploitation employées sur la mine de pyrite (remblayage manuel de 1870 à 1945-50 puis foudroyage jusqu'en 1972) ont entraîné un abaissement du niveau topographique. Un plan indiquait des dénivelés de 4 m en 1889 et les rejets observés aujourd'hui sont pluridécamétriques. Précisons que l'exploitation par foudroyage (à partir de 1950) a concerné l'intégralité de la mine de pyrite, en-dessous des exploitations les plus anciennes : l'affaissement observé en surface après ce changement de méthode exclue dès lors la possibilité de vide dans les exploitations supérieures, plus anciennes. Comme les derniers travaux miniers se sont arrêtés en 1970, d'après le guide PPRM, ce phénomène d'« affaissement progressif » observé devrait pouvoir être négligé aujourd'hui.

Effectivement, les mouvements mis en évidence par des repères de nivellement sont aujourd'hui d'ampleur très limités (« *inférieurs au millimètre par an* ») ; ils illustrent le mécanisme d'affaissement résiduel, phase ultime suivant un affaissement progressif. Cependant, la position et les critères de positionnement de ces 175 repères sur la commune de Saint-Pierre-la-Palud ne sont pas connus. Sans pouvoir garantir la représentativité spatiale des résultats, ces données ne nous permettent donc pas d'extrapoler les résultats et d'affirmer assurément que l'affaissement a bien eu lieu sur l'ensemble du secteur.

Les 20 coupes transversales établies en 1946 puis mises à jour en 1960 et en 1972 sont régulièrement réparties le long de la mine de pyrite. A partir de ces courbes calées sur des affaissements observés en surface, un abaissement topographique aurait donc été observé tout le long de l'exploitation. Localement, on observe que la rigidité de l'éponte ouest constitue des ponts durs au droit de certains secteurs foudroyés les plus profonds, très probablement comblés ensuite par les matériaux éboulés en amont pendage.

Les caractéristiques générales des affaissements observés (ampleur verticale, extension, suivi rapide après exploitation) laissent suggérer que les caractéristiques mécaniques du recouvrement (chapeau de fer) sont suffisamment faibles pour avoir accompagné rapidement les éboulements souterrains sur l'intégralité de la mine (excepté ponts durs localement). Rappelons notamment l'ampleur des affaissements à l'aplomb des anciennes exploitations menées par remblayage complet.

Si on peut donc vraisemblablement supposer que l'affaissement a bien eu lieu sur l'intégralité de la mine de pyrite, nous ne pouvons exclure que, localement, des conditions géologiques et structurales spécifiques n'aient qu'entraîné un affaissement

partiel de la surface ; nous conserverons donc un niveau de prédisposition faible pour tenir compte de ces configurations particulières qu'il ne nous ait pas possible de prévoir, à l'échelle de l'étude.

L'intensité d'un phénomène, s'il était amené à se produire, serait désormais d'amplitude limitée, vu l'ampleur des événements déjà observés (et donc le peu de vide résiduel) et le volume de matériaux apporté en surface par le remblayage.

Par mesure de sécurité, un aléa affaissement de niveau faible est donc considéré pour la « zone globale d'influence des travaux » décrite au § 3.2.2.b), englobant :

- La « zone rouge » du DADT augmentée d'une incertitude de 15 m ;
- La « zone bleue » du DADT ;
- La « zone verte » du DADT, prolongée vers le sud-est.

La table considérée est AleaAffais.

4.2.4. Aléa tassement

Le phénomène de tassement retenu sur le secteur remblayé de la mine de pyrite a un niveau de prédisposition évalué à fort puisque les remblayages en surface concernent une épaisseur d'une trentaine de mètres, a priori non compactée. L'épaisseur de roches foisonnées liée au foudroyage des terrains sous-jacents au remblayage, augmente également cette prédisposition.

L'intensité de ce type de phénomène demeure généralement faible mais compte tenu de l'épaisseur, il est ici rehaussé à moyen.

Un niveau d'aléa tassement de niveau fort est donc considéré pour la « zone bleue » du DADT (hors combe située à proximité du chemin des esses), sur laquelle une épaisseur importante de remblais sans compactage est susceptible d'avoir été mise en place. Le zonage de cet aléa se superpose à celui d'un affaissement résiduel (réajustement de terrain suite à l'abaissement de la surface topographique induit par l'exploitation), dont les effets sont similaires et qui ne sera dès lors, pas détaillé.

Par ailleurs, comme il a été introduit au § 4.2.1 et à l'extérieur des zones à aléa tassement de niveau fort, un aléa tassement de niveau faible est également attribué au droit des galeries dont la profondeur est supérieure à 50 m, pour tenir compte de l'influence en surface de fontis susceptibles d'avoir été autocomblés avant qu'ils ne soient apparus au jour.

La table considérée est AleaTass.

4.2.5. Aléa instabilité de pente

L'ensemble du terril Perret et des dépôts miniers est soumis à une érosion par ruissellement. Actuellement un projet existe concernant l'aménagement du terril : il s'agit en particulier de reprofiler le talus et d'apporter un recouvrement afin de favoriser

une reprise de végétation naturelle. Cet aménagement permettrait de limiter l'érosion par ruissellement, et également l'entraînement de particules fines.

Un niveau d'aléa faible est considéré sur l'emprise (approximative pour ce qui concerne les verses, tracé terrain BRGM) de l'ensemble des dépôts miniers.

Le glissement localisé en limite Nord de l'exploitation est a priori sans lien avec la présence de la mine. Sur son emprise, un niveau moyen est néanmoins considéré.

Dans cette même optique, il est à signaler que d'autres phénomènes de ce genre peuvent se produire compte tenu des fortes pentes et des terrains superficiels meubles. De la même façon, positionné à l'extrémité sud de l'exploitation, le carreau Saint-Antoine présente un affleurement rocheux naturel du gisement de pyrite de fer où des chutes de blocs peuvent se produire. Une étude spécifique est souhaitable.

4.3. CARTE DES ALEAS

Pour l'établissement de la carte des aléas, nous avons utilisé les plans (cadastre compris) fournis par la CIM. En effet, ils sont récents et précis.

La carte est présentée à l'échelle 1/2 000, sur fond cadastral.

Les tables MapInfo utilisées sont les suivantes :

- FondPlan : représente le cadastre (limites parcellaires, bâti) ;
- CourbesNiveau : représente les courbes de niveau qui sont, d'après la CIM, extraite de la BD IGN ;
- ConcessionPerimetre : représente les limites de la concession ;
- AléaEffLoc : représente l'aléa effondrement localisé associé d'une part aux orifices type puits et aux réseaux de galeries (les descenderies et plans inclinés, la Mine de Pyrite de fer, les Vieilles Mines, la Mine du Pilon, la Mine du Gervais et de Silice, ainsi que divers galeries de recherches) et d'autre part lié aux anciennes exploitations (Vieilles Mines, la Mine du Pilon, la Mine du Gervais et de Silice) ;
- AleaAffais : représente une zone d'aléa affaissement pour la Mine de Pyrite ;
- AleaTass : représente une zone d'aléa tassement pour les remblais de la Mine de Pyrite et les galeries situées à une profondeur supérieure à 50 m ;
- AleaGliss : représente plusieurs zones d'aléa vis-à-vis des instabilités de pentes (Terril Perret, dépôts miniers et glissement de 1996).

5. Conclusion

Dans l'état actuel des connaissances, quatre types d'aléa ont été retenus sur la mine de Sain Bel, dont le niveau maximal est fort :

- affaissement
- tassement
- effondrement localisé, pour les orifices type puits, pour les galeries et pour les travaux souterrains des anciennes mines ;
- instabilité de pente de type glissement de terrain.

Le secteur d'aléa tassement fort englobe une zone élargit par rapport à la position réel des remblais, qu'il resterait à localiser plus précisément. Ce niveau d'aléa permet d'indiquer l'importance d'études géotechniques spécifiques lors des futurs aménagements, permettant d'ajuster la valeur des tassements réellement envisageables au droit de la zone.

Il n'est pas considéré d'aléa effondrement généralisé compte tenu du remblayage et du foudroyage des principaux travaux de la mine de pyrite.

Les enjeux présents sur le site concernent principalement des maisons d'habitation et des zones d'activités. Plusieurs maisons sont concernées par un aléa tassement fort, d'autres par un aléa effondrement localisé de puits (exemple : puits de la Baudette) ou de galeries, notamment des galeries de recherches (exemples : lieu-dit « Les Bornes » à Saint Pierre-la-Palud au sud et lieu-dit « Les Granges » à Sourcieux-les-Mines au nord) et de la galerie 115 (exemple : bourg de Sain Bel). Enfin, un aléa affaissement de niveau faible concerne l'ouest du bourg de la commune de Saint Pierre-la-Palud.

6. Bibliographie

L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers. Guide méthodologique Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa. Ouvrage collectif résultant des contributions de divers organismes INERIS, BRGM, GEODERIS, ENSMP, IRSN, CSTB. Sous la direction de l'INERIS. 30 juin 2004

Dossier DADT : (cf §1.3.)

- Pièce n°1 : Présentation du dossier
- Pièce n°2 : Dossier de plans
- Pièce n°3 : Mémoire d'exploitation
- Pièce n°4 : Bilan des effets sur les eaux
- Pièce n°5 : Etude des aléas
- Pièce n°6 : Récapitulatif des installations de surface
- Pièce n°7 : Lettre d'information concernant l'installation hydraulique de sécurité
- Pièce n°8 : Liste des archives
- Pièce n°9 : Historique administratif



**Centre scientifique et technique
Service Ressources minérales**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34