

Antenne SUD
Pist Oasis 3 - Bât A
Rue de la Bergerie
30319 ALES CEDEX
Tél : +33 (0)4.66.61.09.80
Fax : +33 (0)4.66.25.89.68

ANNEXE A

Anciennes exploitations de bauxite de Rougiers, Tourves, Mazaugues, Saint-Julien, Engardin, Merlançon et Les Pourraques (83) Evaluation et cartographie des aléas liés à l'activité minière

RAPPORT S 2015/027DE - 15PAC36020

Date : 30/03/2015

SOMMAIRE

1	Définitions et méthodologie	9
1.1	Définitions de l'aléa et du risque	9
1.2	Incertitudes cartographiques.....	9
1.3	Méthodologie mise en œuvre.....	10
2	Recherches et investigations sur site	11
2.1	Documents d'archives consultés.....	11
2.2	Visites de site et personnes rencontrées.....	12
3	Situation géographique et géomorphologique du secteur étudié	15
4	Contexte géologique	17
4.1	Géologie régionale.....	17
4.2	Géologie locale et nature du gisement.....	19
5	Contextes hydrologique et hydrogéologique	25
5.1	Hydrologie et hydrogéologie.....	25
5.2	Hydrogéologie minière	25
6	Historique et description des travaux miniers	29
6.1	Permis d'exploitation de Rougiers.....	29
6.2	Concession de Tourves	29
6.3	Permis d'exploitation de Mazaugues.....	30
6.4	Concession de St Julien.....	30
6.5	Permis d'exploitation d'Engardin	30
6.6	Permis d'exploitation de Les Pourraques	31
6.7	Permis d'exploitation de Merlançon.....	31
7	Caractéristiques des travaux miniers	33
7.1	Permis d'exploitation de Rougiers.....	33
7.2	Concession de Tourves	33
7.3	Permis d'exploitation de Mazaugues.....	33
7.4	Concession de St Julien.....	35
7.5	Permis d'exploitation d'Engardin	35
7.6	Permis d'exploitation de Pourraques.....	36
7.7	Permis d'exploitation de Merlançon.....	36
8	Profondeur et extension des travaux - Volume des vides	37
9	Productions	39

10 Etat actuel du site	41
10.1 Ouvrages débouchant au jour	41
10.1.1 Informations sur les puits.....	41
10.1.2 Information sur les galeries	41
10.1.3 Informations sur les descenderies	42
10.2 Les dépôts	42
10.3 Les travaux à ciel ouvert	43
10.4 Les désordres	43
10.5 Les anciennes installations de surface	47
10.6 Gaz de mine et feux souterrains	48
10.7 Eléments relatifs à l'environnement.....	49
11 Cartographie informative et système d'information géographique	51
11.1 Géoréférencement des plans des travaux miniers	51
11.2 Incertitudes de localisation	51
11.2.1 Incertitudes sur les ouvrages débouchant au jour et désordres.....	51
11.2.2 Incertitudes de localisation des travaux miniers.....	52
11.2.3 Incertitudes sur les dépôts.....	53
11.2.4 Incertitude sur la localisation des exploitations à ciel ouvert.....	53
11.2.5 Incertitude sur la localisation de l'affleurement de la bauxite	53
11.3 Système d'information géographique	53
12 Inspections souterraines	55
12.1 PEX de Rougiers	55
12.2 Concession de Tourves	56
12.2.1 Secteur Tourves-A : Vieux travaux à l'affleurement.....	56
12.2.2 Secteur Tourves-B : Travaux en chambres et piliers abandonnés.....	56
12.2.3 Secteur Tourves-C : Travaux « dépilés »	57
12.2.4 Secteur Tourves-D : Cas particulier des travaux de la Baume Nord.....	58
12.3 PEX de Mazaugues	63
12.3.1 Secteur Mazaugues-A : Vieux travaux à l'affleurement	63
12.3.2 Secteur Mazaugues-B : Stot des descenderies des Fouilles	64
12.3.3 Secteur Mazaugues-C : Travaux dépilés.....	65
12.3.4 Secteurs Mazaugues-D : Cas particulier d'un secteur dépilé.....	66
12.4 Concession de Saint-Julien.....	71
12.5 PEX D'engardin	72
12.6 PEX des Pourraques et de Merlançon	73
12.7 Synthèse des secteurs visités	74
13 Liste des phénomènes	77

14	Identification des aléas retenus et écartés	79
14.1	Aléas écartés	79
14.1.1	<i>L'inondation</i>	79
14.1.2	<i>L'échauffement</i>	79
14.2	Aléas non évalués	80
14.2.1	<i>Pollution des eaux et sols</i>	80
14.2.2	<i>Emission rayonnements ionisants</i>	80
14.2.3	<i>Gaz de mine</i>	80
14.3	Aléas retenus	81
14.3.1	<i>L'affaissement</i>	81
14.3.2	<i>L'effondrement généralisé</i>	81
14.3.3	<i>L'effondrement localisé</i>	83
14.3.4	<i>L'éroulement rocheux</i>	83
14.3.5	<i>Le glissement</i>	83
14.3.6	<i>Le tassement</i>	84
15	Configurations d'exploitations souterraines	85
15.1	Les travaux en chambres et piliers abandonnés (TRVX1a)	85
15.2	Travaux foudroyés (TRVX1b)	85
15.3	Zones potentiellement affectées par les travaux miniers (TRVX2)	86
16	Evaluation des aléas affaissement et effondrement généralisé	87
16.1	Prédisposition	88
16.1.1	<i>Concession de Tourves</i>	88
16.1.2	<i>PEX de Mazaugues</i>	90
16.1.3	<i>Concession de Saint-Julien</i>	92
16.2	Intensité	93
16.3	Evaluation des aléas affaissement et effondrement généralisé	95
17	Evaluation de l'aléa effondrement localisé	97
17.1	Description du phénomène	97
17.1.1	<i>Cavités à l'origine des effondrements localisés</i>	98
17.1.2	<i>Zone d'altération superficielle</i>	99
17.2	Aléa effondrement localisé lié aux galeries isolées et descenderies	99
17.2.1	<i>Evaluation de la prédisposition</i>	100
17.2.2	<i>Evaluation de l'intensité</i>	102
17.3	Aléa effondrement localisé lié aux zones de travaux souterrains	104
17.3.1	<i>Evaluation de la prédisposition</i>	104
17.3.2	<i>Evaluation de l'intensité</i>	109
17.3.3	<i>Niveau d'aléa – Synthèse</i>	109

17.4	Aléa « effondrement localisé » lié aux puits	109
17.4.1	<i>Evaluation de la prédisposition</i>	110
17.4.2	<i>Evaluation de l'intensité</i>	111
17.4.3	<i>Evaluation de l'aléa</i>	112
18	Evaluation de l'aléa écoulement rocheux	113
19	Evaluation de l'aléa glissement	115
20	Evaluation de l'aléa tassement	117
21	Cartographie des aléas	119
21.1	Cartographie de l'aléa affaissement.....	119
21.2	Cartographie de l'aléa effondrement généralisé.....	120
21.3	Cartographie de l'aléa effondrement localisé liés aux travaux.....	121
21.4	Cartographie de l'aléa effondrement localisé lié aux puits.....	122
21.5	Cartographie de l'aléa écoulement.....	122
21.6	Cartographie de l'aléa tassement.....	122
21.7	Cartographie de l'aléa glissement.....	122

Mots clés : Rougiers, Tourves, Mazaugues, Saint-Julien, Engardin, Les Pourraques, Merlançon, La Celle, Camps-la-Source, La Roquebrussanne, Brignoles, aléa, effondrement localisé, effondrement généralisé, affaissement, écoulement, tassement, glissement, bauxite

Préambule

Ce rapport s'appuie sur l'étude INERIS DRS-12-129400-11561A du 14 mars 2013 intitulée « Anciennes exploitations de bauxite des communes de Brignoles, Camps-la-Source, La Celle, Mazaugues, La Roquebrussanne, Rougiers et Tourves (83). Phase informative et évaluation détaillée des aléas liés aux mouvements de terrain » et rédigée par A. CHERKAOUI, ingénieur à la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol.

Par ailleurs, l'historique administratif des titres miniers synthétisé dans ce rapport à partir des documents d'archives à disposition est donné à titre indicatif. Cet historique relève de la responsabilité de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL).

INTRODUCTION

La région de Brignoles située dans le département du Var a été le siège d'exploitations pour la bauxite à partir début des années 1900 jusqu'au début des années 1990. La bauxite est une roche où l'alumine est très concentrée. Elle est d'ailleurs le minerai le plus utilisé pour obtenir de l'alumine (oxyde d'aluminium), matière intermédiaire à la fabrication de l'aluminium.

Lors de l'opération Inventaire des Risques Miniers (IRM ou scanning), les concessions et les Permis d'Exploitation (PEX) pour bauxite du Bassin dit de Mazaugues ont fait l'objet d'une opération d'évaluation rapide de l'aléa. Cette étude (cf. [1]¹), menée en 2007, avait abouti au classement des communes de Rougiers et Brignoles comme étant « *sans risque mouvement de terrain* » (elles ne présentaient pas d'enjeu) et des communes de Camps-la-Source, La Celle, Mazaugues, La Roquebrussanne et Tourves comme étant des « *zones à risque potentiel mais non prioritaires* ». L'ensemble de ces secteurs ont été classés en priorité 4 pour la réalisation d'une étude détaillée des aléas.

Ces aspects ont incité la DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur à retenir, dans le cadre du programme de travail de Geoderis, l'étude détaillée des aléas des anciens titres miniers pour bauxite de la région de Mazaugues, à savoir (cf. figure 1) :

- la concession de Tourves (n° BDSTM² 83SM0033) couvrant en partie les communes de Rougiers, Tourves et Mazaugues ;
- la concession de Saint-Julien (n° BDSTM 83SM0020) couvrant en partie les communes de La Celle, Tourves et La Roquebrussanne ;
- le Permis d'Exploitation (PEX) de Rougiers (n° BDSTM 83SM0042) couvrant en partie les communes de Rougiers et Mazaugues ;
- le PEX de Mazaugues (n° BDSTM 83SM0032) couvrant en partie les communes de Mazaugues, Tourves et La Roquebrussanne ;
- le PEX d'Engardin (n° BDSTM 83SM0019) couvrant en partie les communes de La Celle, Brignoles et La Roquebrussanne ;
- le PEX des Pourraques (n° BDSTM 83SM0008) couvrant en partie les communes de La Celle, Brignoles et Camps la Source ;
- le PEX de Merlançon (n° BDSTM 83SM0007) couvrant en partie la commune de Brignoles ;

L'objectif de l'étude détaillée des aléas est d'établir, à partir de la synthèse documentaire des données disponibles sur ces sites, les cartes informatives et les cartes d'aléas « mouvements de terrain » de ces anciennes exploitations. Pour le rendu final de ces cartes, nous utilisons des fonds topographiques ou photographiques géoréférencés (Scan 100[®] IGN, Scan 25[®] IGN et BD Ortho[®] IGN).

¹ Références en fin de document, chapitre bibliographie.

² Base de Données des Sites et Titres Miniers de Géoderis

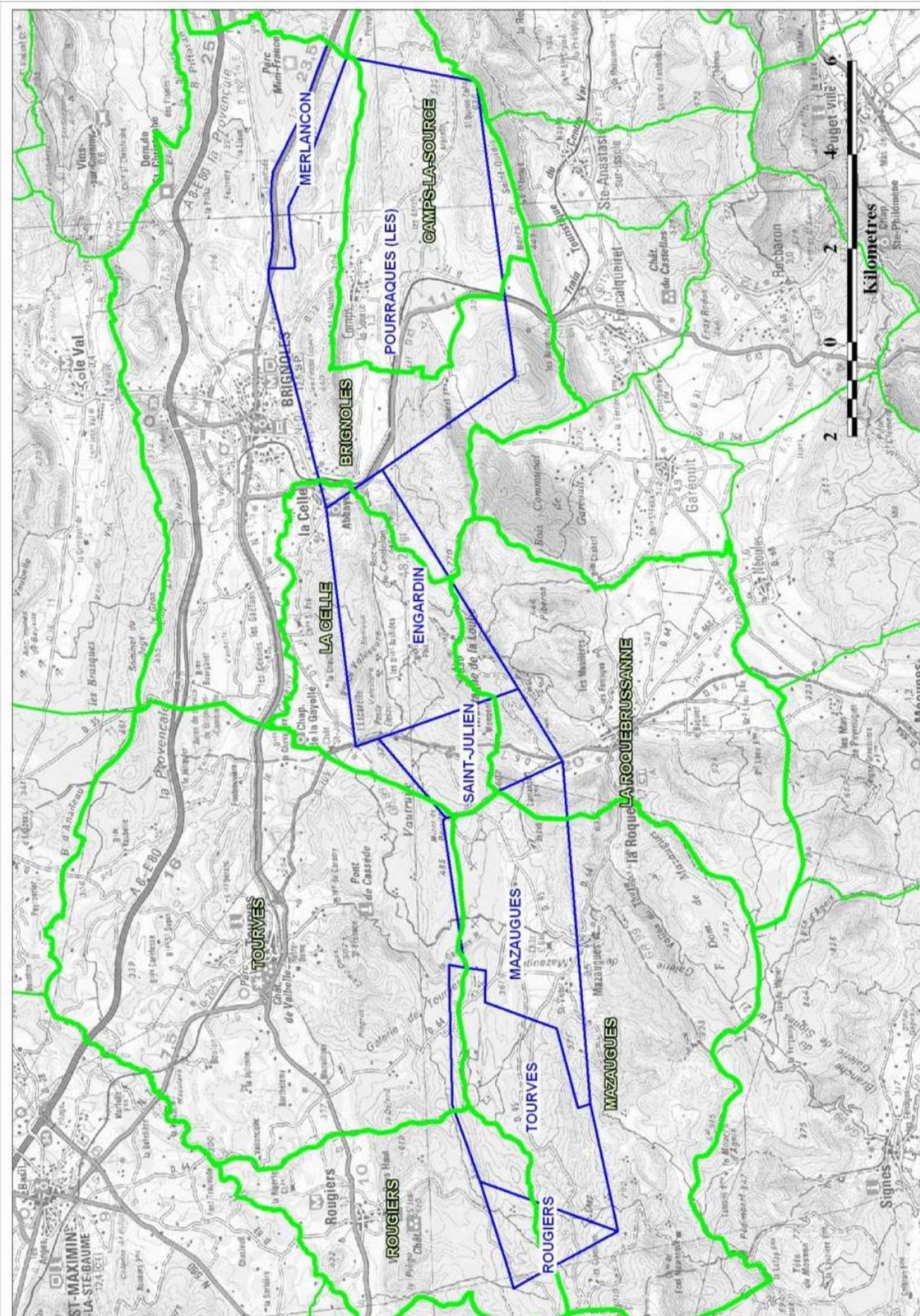


Figure 1 : Localisation des titres miniers objets de l'étude détaillée des aléas (Fond SCAN 25©IGN)

1 DEFINITIONS ET METHODOLOGIE

1.1 Définitions de l'aléa et du risque

L'**aléa** est un concept qui correspond à l'éventualité qu'un phénomène d'intensité qualifiable ou quantifiable, se produise sur un site donné. Dans le domaine du risque minier comme dans celui du risque naturel, l'aléa résulte du croisement de l'intensité d'un phénomène redouté et de l'éventualité de sa survenance (cf. figure 2).

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

Figure 2 : Grille de croisement intensité /Prédisposition (d'après [2])

L'aléa est hiérarchisé. On utilise les termes « **aléa fort** », « **aléa moyen** » et « **aléa faible** ». Cette hiérarchisation peut signifier :

- que les zones concernées par l' « aléa fort » sont davantage prédisposées à l'apparition de dégradations en surface que les zones d' « aléa moyen » ou d' « aléa faible » ;
et/ou,
- que les phénomènes susceptibles de se produire dans les zones d' « aléa fort » sont d'un niveau plus élevé que dans les zones d' « aléa moyen » ou d' « aléa faible ».

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

1.2 Incertitudes cartographiques

La première étape de l'étude d'aléa, appelée « phase informative » consiste en partie, à positionner sur fond cartographique, les anciens travaux et autres éléments utiles (ouvrages débouchant au jour, indices de désordres, dépôts de surface) dans leur environnement.

Le positionnement des travaux miniers, des ouvrages et désordres qui n'ont pas été retrouvés sur le terrain est affecté d'une incertitude globale pouvant être décomposée de la manière suivante :

- Incertitude de localisation de l'ouvrage minier : elle 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 plans portant peu de points de repère se voient attribuer l'incertitude de ces plans.

- Incertitude liée à la reproduction du plan : par exemple, photographier un plan provoquera une incertitude plus grande que de le scanner.
- Incertitude liée à l'opération de géoréférencement du plan : elle dépend principalement de l'incertitude des points de repère utilisés pour son calage.
- Incertitude liée au choix du support cartographique : le support cartographique, la BD ORTHO® de l'IGN dans le cas présent, de par sa précision est lui-même vecteur d'une erreur de positionnement indépendante des ouvrages miniers. Elle est estimée à 3 m pour la BD ORTHO® de l'IGN.

Ces incertitudes n'apparaissent pas en cartographie de phase informative, mais sont incluses dans les **marges** prises en compte pour la cartographie des aléas. En effet, la cartographie de l'aléa lié à un élément minier intègre l'extension du phénomène ainsi que l'incertitude globale décomposée ci-dessus.

1.3 Méthodologie mise en œuvre

Les différentes investigations ont été réalisées dans le cadre méthodologique retenu pour les études des anciens sites miniers, conformément aux textes réglementaires. Le déroulement de l'étude des aléas s'appuie donc sur la démarche établie dans le guide méthodologique d'élaboration des plans de prévention des risques miniers (cf. [2]). La réalisation d'une étude des aléas comprend deux phases successives, qui se traduisent chacune par un ou plusieurs documents cartographiques :

1. **Une phase informative**, présente 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...), l'ensemble s'appuyant sur une enquête de terrain. Le produit de cette phase est une **carte informative**, positionnant les différents éléments sur la BD ORTHO® IGN.
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.

2 RECHERCHES ET INVESTIGATIONS SUR SITE

2.1 Documents d'archives consultés

Cette étape documentaire a été menée de mars à septembre 2012 puis en janvier 2014 sur la base :

- de recherches spécifiques dans :
 - les archives du Service Géologique Régional (SGR) du BRGM à Marseille ;
 - les archives centrales du BRGM à Orléans ;
 - les archives de la DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur à Toulon et Marseille ;
 - les Archives Départementales du Var à Draguignan ;
 - le Centre d'Accueil et de Recherches des Archives Nationales (CARAN, Paris) ;
- de recherches dans les publications générales (Annales des Mines, monographies sur la bauxite, etc.) ;
- de demandes d'informations auprès des Services de la Direction Régionale des Affaires Culturelles (DRAC) Languedoc-Roussillon ;
- d'enquêtes auprès des services techniques municipaux des communes du bassin ;

La quasi-totalité des documents cartographiques est issue des archives de la DREAL PACA et du Musée de la bauxite à Tourves. Les documents écrits concernant les sept titres étudiés sont essentiellement constitués de rapports des Ingénieurs des Mines, de Procès-Verbaux (PV) de visite et d'accident, de redevances minières. Les documents écrits, qui ont permis de réaliser la synthèse informative sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Exploitations	Descriptif	Dates	Lieu d'archivage	Remarques
Mazaugues - Engardin - Combecave - Peygros - Le Recoux - St-Christophe	Procès-verbaux de visite	1861-1872	Archives Nationales	Les archives nationales contiennent les premiers procès-verbaux de visite. Les exploitations étaient alors considérées comme des "carières". Ces PV sont néanmoins très peu détaillés.
	Procès-verbaux de visite	1871-1887	Archives Nationales	
	Procès-verbaux de visite	1886-1901	Archives Nationales	
Engardin	Commune de La Celle	-	Archives Départementales	Très peu de données précises sur les mines de bauxite Varoises ont été retrouvées aux AD83. Il s'agit principalement de données générales et géologiques.
Mazaugues - Tourves	Commune de Mazaugues	-	Archives Départementales	
-	Industries diverses	-	Archives Départementales	
Engardin - Mazaugues - Rougiers	DADT Plans d'ensemble	1950-1990	DREAL (UT du Var)	Les archives de la DREAL contiennent les DADT (Dossier d'Abandon des Travaux Miniers) des concessions de : Mazaugues, Engardin et Rougiers. Ainsi que des données très administratives (courriers entre le Préfet, la DREAL...).
Tourves - St-Julien - Mazaugues - Rougiers - Pelicon (Pourraques) - Merlançon - Engardin	DADT Plans d'ensemble Plans de détail Coupes Procès-verbaux de visite	1950-1990	Musée de la bauxite	Les archives du musée de la bauxite contiennent les DADT des concessions de : Tourves et Saint-Julien. L'ensemble des documents appartenant à Pechiney (plans récents d'exploitation) ont également été versés au musée. Enfin, elles contiennent quelques archives sur d'autres sites miniers exploitées dans le Var (Fluorine...).

Tableau 1 : Inventaire des documents écrits utiles à la synthèse informative

2.2 Visites de site et personnes rencontrées

Sur la base des informations fournies par le rapport scanning (cf. [1]), une première visite sur site a été effectuée du 20 au 22 mars 2012, période durant laquelle une partie des archives non conventionnelles a été consultée (Musée de la Bauxite à Tourves, rencontre avec les mairies et témoignages de certains riverains). La principale partie de l'enquête sur le terrain a eu lieu du 23 au 27 avril 2012, après la consultation des archives et l'élaboration d'une « pré-carte » informative. Une autre visite de terrain a eu lieu du 11 au 15 juin pour terminer le repérage sur site et lever quelques incertitudes ponctuelles. Une dernière visite de contrôle spécifique sur d'anciennes zones foudroyées a été réalisée le 05 février 2014.

Par ailleurs, deux journées ont été passées avec le CIRKA (club de spéléologie du Var) qui connaît bien le site investigué. L'aide de ces spéléologues a été très précieuse car ils nous ont guidés dans les anciennes galeries souterraines minières, nous permettant ainsi d'analyser au mieux la stabilité des zones. Grâce à leur témoignage, des désordres, des accès et des passages ont pu être repérés. En outre, ils nous ont fournis des plans miniers supplémentaires concernant de vieux travaux lors d'une réunion en mairie de Mazaugues le 14 juin 2012.

Concrètement, les recherches sur le terrain ont été menées à partir :

- des premiers calages des éléments cartographiques provenant des documents d'archives consultés ;
- des témoignages de riverains et de personnes ayant une bonne connaissance des vestiges miniers.

Les visites ont permis de localiser un certain nombre de vestiges liés à l'exploitation minière (ouvrages débouchant en surface, anciens bâtiments de mine, dépôts miniers, désordres, etc.). Le levé de l'ensemble de ces indices a été réalisé à l'aide d'un dGPS (GPS différentiel) offrant une précision de localisation allant de 0,5 à 3 m après post-traitement.

PHASE INFORMATIF

3 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DU SECTEUR ETUDIE

Le secteur étudié se situe dans le département du Var, entre Draguignan et Aubagne. L'ensemble des sept titres étudiés s'étend, d'ouest en est, sur une longueur d'environ 27 km et, du nord au sud, sur une largeur d'environ 3 km. Cette zone est répartie sur sept communes (Rougiers, Mazaugues, Tourves, La Celle, La Roquebrussanne, Brignoles et Camp-la-Source).

Le relief de la zone est varié, allant de + 280 m NGF (commune de Camp la Source) à + 830 m NGF (commune de la Celle). Les exploitations se concentrent, pour la plupart, dans des zones inhabitées et peu végétalisées. Le paysage naturel se caractérise par un mélange de forêts bien conservées, d'arbrisseaux de type genévrier sur les zones rocailleuses et de formations saxicoles provençales classiques des rochers calcaires et dolomitiques. Le secteur comprend 4 ZNIEFF de niveau 1 (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique), d'Ouest en Est : Chaîne de la Sainte Baume, Mourre d'Agnis et la forêt domaniale de Mazaugues, Montagne de la Loube, Forêt de Vautruite et de Saint Julien – Collines de Tourves.

Les principaux cours d'eau traversant la zone sont le Caramy, le Grand et le Petit Gaudin et le Garragay.

4 CONTEXTE GEOLOGIQUE

4.1 Géologie régionale

Les bauxites sont les roches résiduelles d'une altération de surface sous l'effet de climats tropicaux chauds et humides. Elles se composent d'alumine hydratée, d'oxydes et d'hydroxydes de fer, d'argile kaolinique et d'un peu d'oxyde de titane.

Les bauxites du Var sont de l'ère secondaire provenant du démantèlement de bauxites primaires par érosion ou karstification (cf. [7]). Dans la région de Brignoles, la bauxite affleure suivant deux bandes approximativement parallèles d'environ 30 km de long, orienté Est-Ouest (cf. figure 2). Elles correspondent aux deux flancs de l'anticlinal érodé de la Vallée du Caramy (cf. figure 3). Au sud de Brignoles, la zone concernée dans le cadre de ce rapport, il y a deux zones d'affleurement de bauxite (repérée par des cercles rouges sur la figure 3).

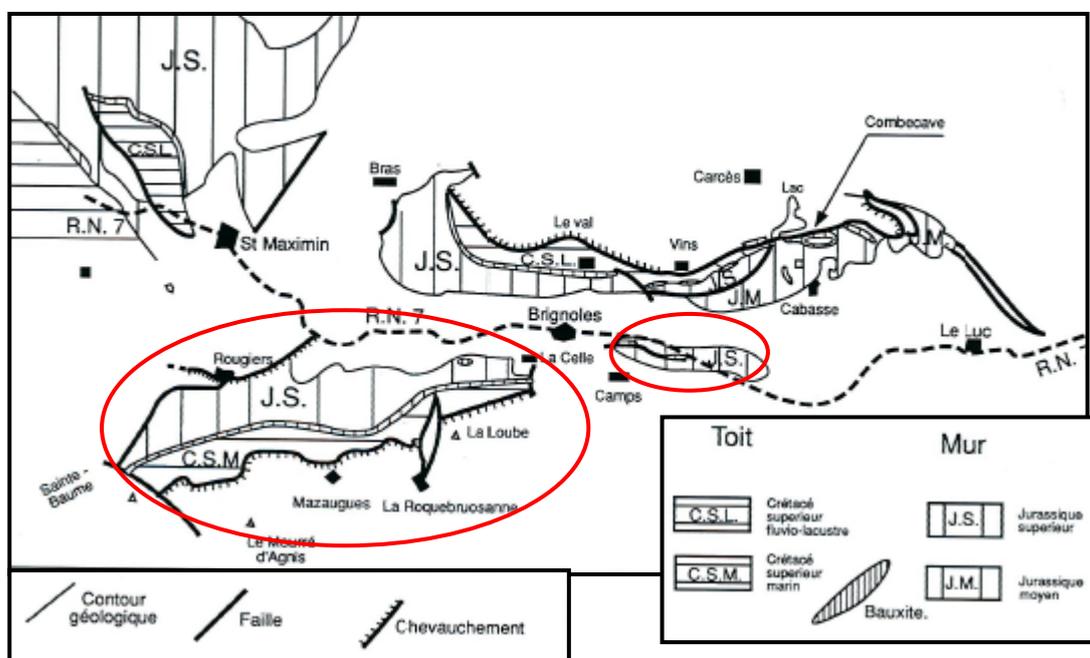


Figure 3 : Gisement de bauxite de région de Brignoles (d'après [7])

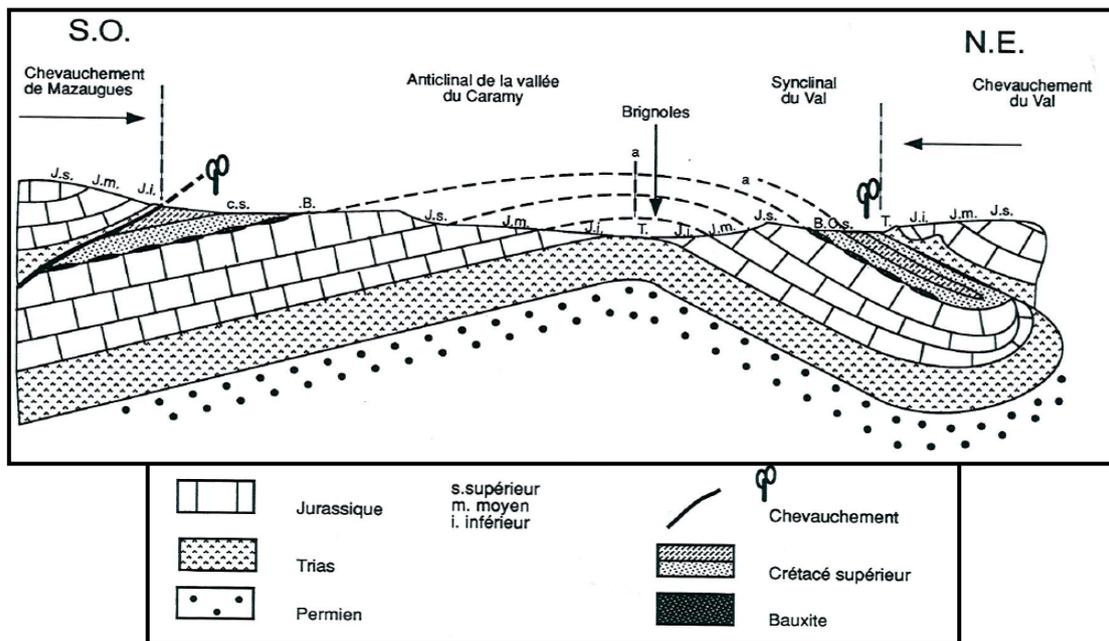


Figure 4 : Coupe géologique simplifiée passant par Brignoles (d'après [7])

La première zone se situe au sud-ouest de Brignoles, où l'affleurement de bauxite a un pendage en direction du sud de l'ordre de 10°. Le substrat ou mur de la bauxite est formé des calcaires du Jurassique et du Crétacé inférieur, eux même déposés sur le Permien et le Trias. La bauxite est recouverte par des sédiments du Crétacé supérieur (grès, argiles, calcaires). Elle s'est donc formée au cours du Crétacé moyen. Il est à noter que des plissement postérieurs ont incliné les couches et provoqué des chevauchements amenant des terrains du mur sur la bauxite et son toit (cf. figure 4).

La deuxième zone au sud-est de Brignoles est moins étendue mais de structure plus complexe car il s'agit d'un synclinal écaillé et chevauché (cf. [8]). Cette zone concentre seulement deux exploitations, celle de Pourraques et Merlançon. Elle se compose principalement de l'anticlinal des Pourraques et du synclinal de Pelicon (cf. figure 5).

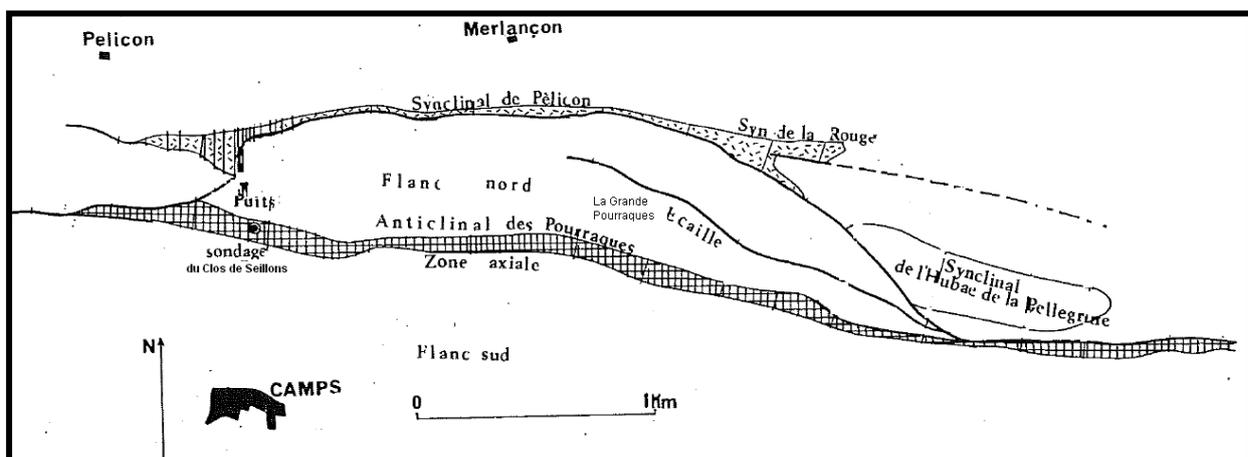


Figure 5 : Schéma géologique de la région de Pelicon (d'après [8])

Le flanc sud de l'anticlinal des Pourraques plonge de 50 à 60° sous le synclinal de Camps avec quelques variations tectoniques d'épaisseur des couches. Son flanc Nord se divise en trois tronçons : le tronçon ouest qui longe le vallon Nord et qui est pris en écharpe par un grand décrochement ENE-OSO ; le tronçon Est, au sud est de l'Hubac de Pellegrine, où apparaissent des calcaires du Crétacé inférieur, a un flanc nord très étiré et déversé, chevauché par le Trias de la zone axiale. Enfin, le tronçon médian est formé de la série jurassique complète. A son front se trouve la série de bauxite dite de Bribot-Merlançon, verticale et en situation normale. Celle-ci s'effiloche au Nord de la Grande Pourraque puis disparaît jusqu'à la Rouge (cf. [8]).

Le synclinal de Pélicon possède divers panneaux de bauxite (cf. figure 6) :

- sur le flanc Nord du synclinal, la couche Vassal-nord (VN) affleurante et son prolongement souterrain écaillé et chevauché par la couche Vassal-sud (VS) ;
- sur le flanc Sud, la couche Bribot-Pélicon (BP) exploitée à Pélicon et passant à la couche Bribot-Merlançon extraite à Merlançon.

Toutes ces couches ne sont évidemment que des éléments tectoniques disjoints d'une seule et même couche de bauxite.

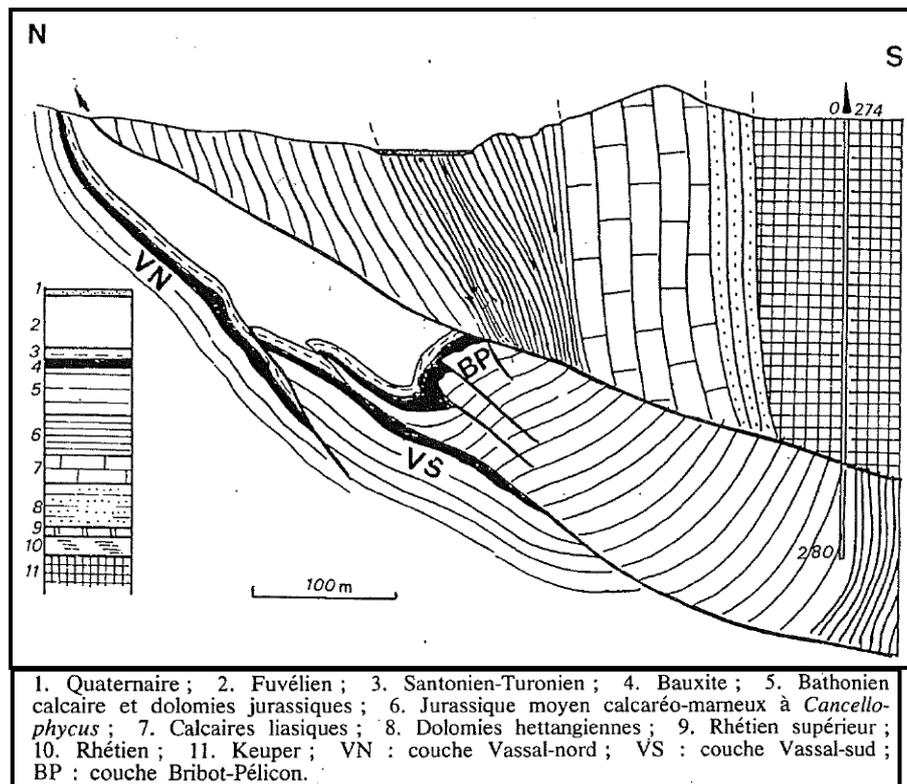


Figure 6 : Coupe du synclinal de Pélicon par le sondage du clos de Seillons (d'après [8])

4.2 Géologie locale et nature du gisement

Des informations ont été retrouvées sur la nature des gisements exploités dans les DADT (Dossier d'Abandon des Travaux Miniers) pour l'ensemble des exploitations à l'exception de celles des PEX de Les Pourraques et Merlançon.

La zone de Rougiers à environ 6 km au nord-ouest du village de Mazaugues est située sur le versant nord du monoclin à pendage Sud, au Sud de l'anticlinal de Brignoles. La bauxite se présente en couche irrégulière et de faciès très variable. Elle repose sur un mur dolomitique karstifié et le toit est constitué de bancs calcaires stratifiés souvent diaclasés. Le pendage de la couche de bauxite est de 8° à 10° en moyenne vers le sud-est. Le gisement reconnu s'étend sur 1000 m environ à la cote + 520 NGF. La partie supérieure est constituée par les affleurements sur une distance de 400 m entre les cotes + 550 NGF et + 570 NGF. Il comporte deux lentilles minéralisées : une au nord est entre les affleurements et la cote + 520 NGF et une au sud-ouest entre les cotes + 520 NGF et + 570 NGF sous un recouvrement calcaire de 50 à 60 m.

Le gisement de Tourves, de type lenticulaire et situé à l'est de l'exploitation de Rougiers, suit un pendage sud de 10 à 15°. La formation bauxitique repose sur un mur constitué de calcaire et de dolomies karstifiés et son toit débute par une couche de calcaires du Coniacien (Crétacé Supérieur) de 60 à 80 m d'épaisseur, se poursuivant par des alternances d'âge Santonien (Crétacé Supérieur) de bancs calcaires à rudistes, de couches argilo-marneuses ou argilo-sableuses et plus rarement de bancs de grès.

Le bassin de Mazaugues, à l'est de celui de Tourves, est constitué par une série de couches Jurassico-Crétacées à pendage régulier 10° sud – sud-est, recoupées par quelques failles verticales. La couche de bauxite, de 3,5 à 4 m d'épaisseur (2,5 à 3 m de Bauxite calcaire et 1 à 1.5 m de bauxite siliceuse), repose sur un mur de calcaires dolomitiques et dolomies karstifiées. La minéralisation de type lenticulaire est de plus en plus aléatoire au fur et à mesure que le synclinal s'approfondit. Le toit débute par un banc de calcaires marneux noirs, parfois ligniteux et pyriteux, sur quelques décimètres d'épaisseur, appelé faux-toit. La série se poursuit par une alternance de bancs calcaires à rudistes et de couches argilo-sableuses ou marneuses (cf. figure 7). Le premier banc, situé directement au-dessus du faux-toit, peut atteindre une épaisseur de 70 m. Les bancs de calcaires présents dans le toit sont fracturés et fortement karstifiés (cf. figures 8 et 9).

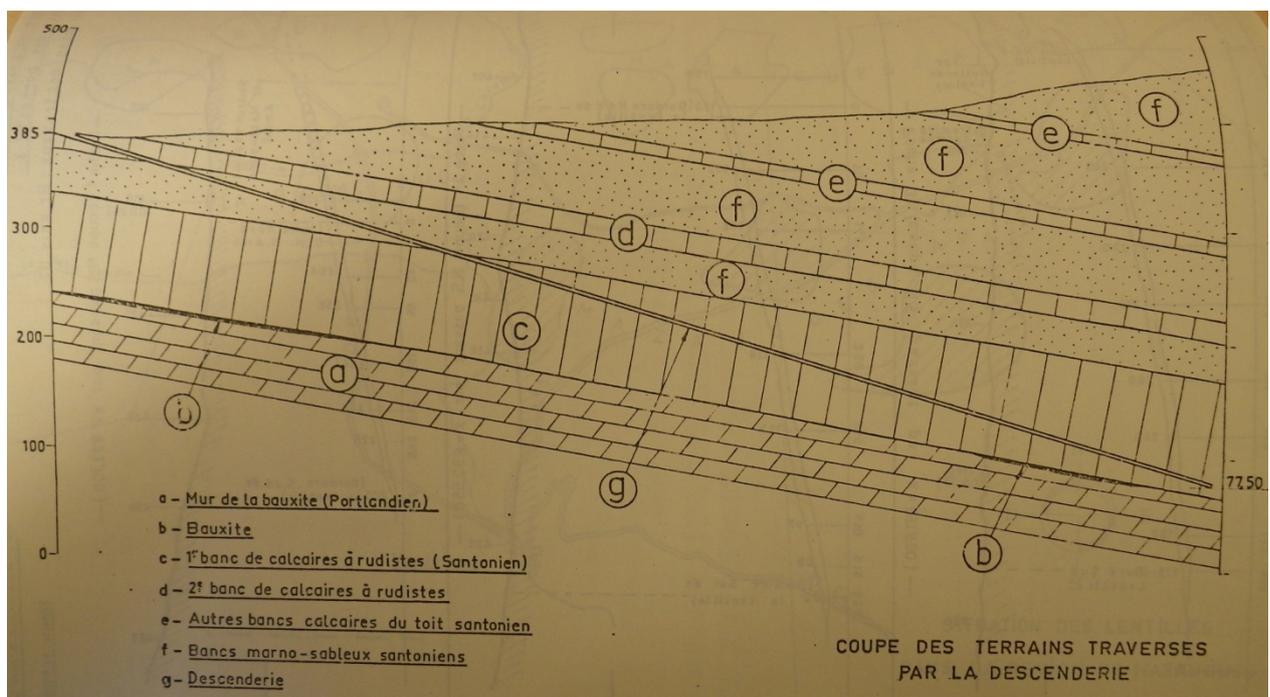


Figure 7 : Coupe schématique des terrains traversés et sus-jacents à la descenderie de Mazaugues Aval (source DADT)



Figure 8 : Racines de végétaux à plus de 10 m de profondeur témoignant de l'intense karstification des calcaires coniaciens



Figure 9 : Fracturation Karstification verticale des calcaires coniaciens

La zone bauxitique de St Julien est située sur la zone est du synclinal de Mazaugues, elle est limitée à l'ouest par une faille verticale de 30 m de rejet, dénommée localement faille de Vautruite. A l'est de St Julien, le synclinal de Mazaugues est interrompu par un graben de direction nord-sud dans lequel apparaissent des terrains triasiques. La formation de type lenticulaire repose sur un mur constitué de calcaires dolomitiques et de dolomies karstifiées. Le toit débute par un horizon calcaire de 60 à 80 m de puissance et se poursuit par une alternance de bancs calcaires à rudistes et de couches argilo-sableuses ou marneuses du Crétacé Supérieur. L'ensemble de la structure est affecté par un pendage sud de l'ordre de 15°, la série s'enfonçant sous les escarpements infraliasiques en position chevauchante vers le nord. La minéralisation en bauxite se présente sous forme de lentilles stratiformes à dominante siliceuse d'une puissance moyenne de 4,5 m. Celle-ci devient de plus en plus aléatoire au fur et à mesure de l'approfondissement du synclinal.

Le massif d'Engardin, allongé d'est en ouest, appartient au flanc Nord du synclinal « Camp-Mazaugues-Le plan d'Aups » et apparait comme un vaste monoclin à pendage Sud, compartimenté de failles, plongeant sous une couverture allochtone chevauchante constitué de massif calcaires et dolomitiques. La bauxite se présente sous forme d'amas lenticulaires inclus entre un mur dolomitique du Jurassique Supérieur et un toit calcaire du Crétacé supérieur selon un pendage sud important d'environ 40° (atteignant 70° par endroit). La minéralisation est de plus en plus aléatoire au fur et à mesure de l'approfondissement du synclinal. Une tectonique cassante importante a morcelé le contact bauxitique, lequel est fortement redressé dans la partie amont du synclinal. Le mur est très karstifié (du fait de l'altération et la dissolution par l'eau) et irrégulier. Quelques conduits ouverts et des niveaux d'argile d'infiltration sont observables dans les anciens travaux. Le toit (Crétacé Supérieur), est constitué d'une alternance de bancs calcaires récifaux et d'interbancs argiligréseux. Le premier banc, situé au toit immédiat de la bauxite, atteint une puissance moyenne de 50 à 60 m.

Peu d'informations ont été retrouvées sur les gisements de Les Pourraques et Merlançon. La bauxite présente une structure sous la forme de divers panneaux. Vassal-Nord plonge de 45° à 50° en direction du sud et Vassal-Sud tend à s'aplatir pour former le fond du synclinal et se réduire progressivement vers l'ouest, en étant affectée d'écaillages accessoires (cf. figure 10). La structure Bribot-Pélicon et Bribot-Merlançon est plus complexe. Ces couches se distinguent par la grande épaisseur très variable de la bauxite. Son mur est affecté de failles et de cassures multiples s'amortissant en général dans le minerai. La base de la bauxite est formée, en fait, par une brèche tectonique à éléments calcaires ou dolomitiques noyés dans le minerai, souvent lardé de grands éclats de mur (cf. [8]).

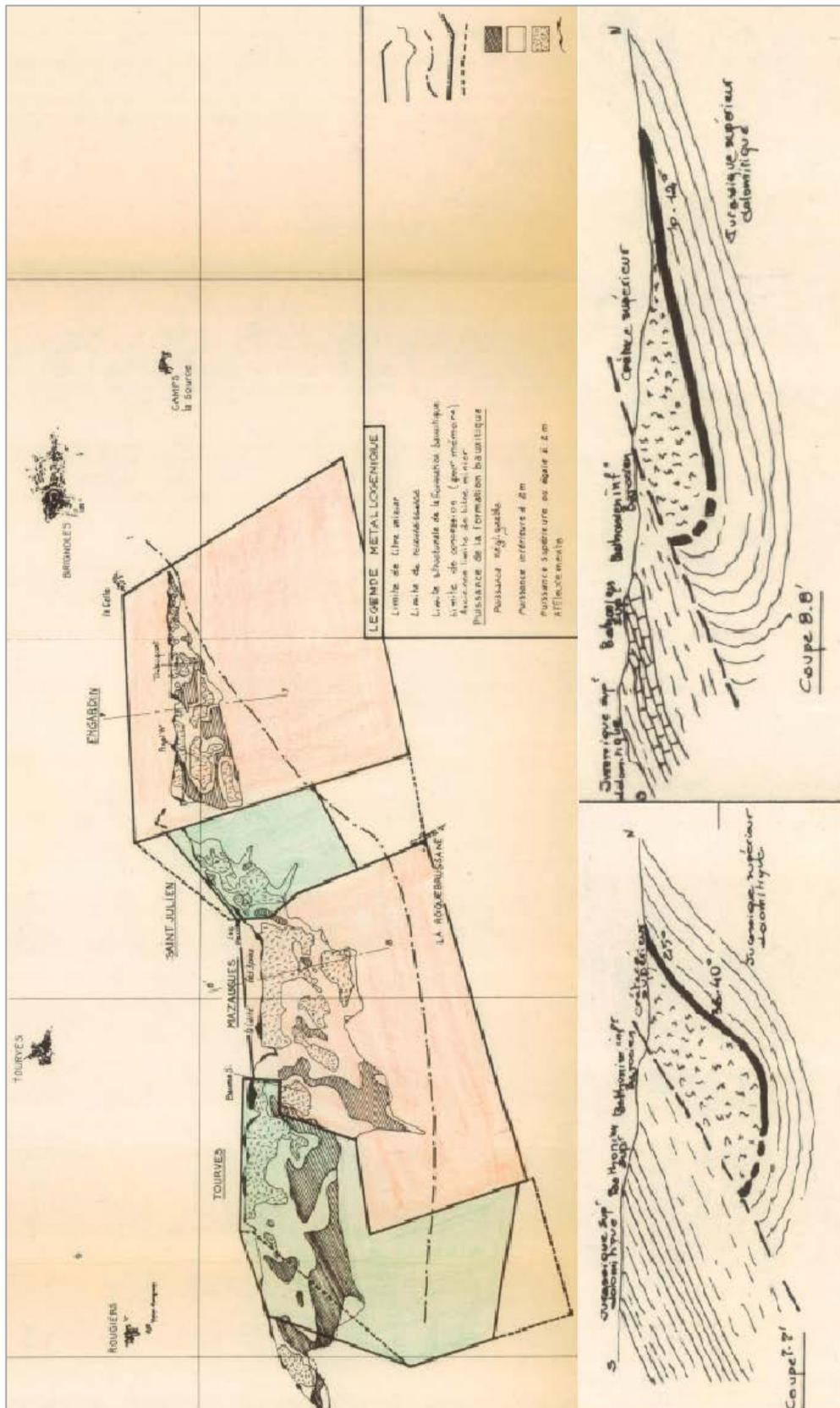


Figure 10 : Synthèse tectonique du bassin de bauxite (source DADT)

5 CONTEXTES HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

5.1 Hydrologie et hydrogéologie

Le réseau hydrographique est essentiellement constitué par le Caramy, le Garragay et les ruisseaux du Grand et du Petit Gaudin (cf. figure 11).

L'aquifère principal est constitué par les calcaires et les dolomies karstiques au mur de la bauxite et au toit immédiat de la couche (premier banc calcaire). Bien que la bauxite soit imperméable, il y a une relation entre mur et toit grâce aux différentes fractures en présence.

L'alimentation de cette nappe se fait :

- par infiltration à partir des précipitations sur les calcaires et dolomies qui affleurent dans la zone de nappe libre au Nord du bassin de Mazaugues. La recharge moyenne annuelle est de 10l/s/km² ;
- par infiltration des eaux de ruissellement à partir de certaines portions de lits de rivières coulant sur le bassin dans la zone libre de la nappe. Elles ont soit un caractère permanent comme le Caramy qui présente des pertes entre le vallon de l'Epine et la source de la Figuiere (côte + 295 NGF), soit un caractère accidentel comme dans le cas du ruisseau du Grand Gaudin qui, en temps de crue, s'infiltré dans le banc n° 1.

Les principaux exutoires sont répartis selon deux zones géographiques :

- le long de la limite Nord du bassin, où le Jurassique Supérieur aquifère vient buter en contact anormal avec le Trias de la plaine de Saint Maximin, on observe des débordements de la nappe visibles par des lignes de sources entre Nans-les-Pins et Rougiers. Plus à l'est, en rive droite du Caramy, des sources jaillissent au contact du Jurassique Supérieur et des marnes du Dogger, notamment à Saint-Julien ;
- dans la vallée du Caramy, une série d'exutoires est présente. Les principales sources pérennes sont la Fontaine de la Figuiere et la source des Lecques. Il existe également plus à l'aval quelques exutoires diffus dans le lit du Caramy.

Au Nord, la limite de la nappe karstique est constituée par la plaine triasique de St Maximin et la plaine alluviale du Caramy. Son extension vers le sud s'arrête au nord du massif d'Agnis.

Des aquifères secondaires existent dans les niveaux calcaires de la série du Crétacé Supérieur. Ces nappes (niveau piézométrique de + 350 NGF) sont isolées de l'aquifère principal en raison de la présence de couches argileuses et marneuses intercalées entre les bancs calcaires.

Le canal de Provence traverse l'exploitation de Mazaugues selon un axe Nord-Sud et l'Est de la concession de Tourves. Sur toute sa section, il est souterrain à la cote + 328 NGF.

5.2 Hydrogéologie minière

Les archives consultées ne font pas mention de niveau d'ennoyage dans les travaux. Le piézomètre le plus proche du site de l'étude est le piézomètre de Mazaugues (Source du Caramy, référence 10452X0232) dont le niveau varie de + 416 m NGF à + 424 m NGF.

Lors des visites, notre progression dans les travaux souterrains était stoppée par la présence d'eau que ce soit à des niveaux superficiels (exemple sur le PEX de Rougiers eau à la cote + 555 m NGF, G79) ou plus profonds (+ 330 m NGF correspondant à la sortie d'exhaure G109 des eaux du PEX de Mazaugues). Sur le PEX de Mazaugues, des figures de ruissellements profonds et de ravinements avec déplacement de blocs (type régime torrentiel) ont été observées à la sole des descenderies témoignant de l'apport important d'eau par les fractures et karsts probablement lors des périodes fortement pluvieuses (type épisode cévenol). Au niveau de la galerie qui draine ces eaux vers l'exhaure G109, le battement de la nappe peut atteindre 20 m, la capacité d'exhaure des eaux étant probablement insuffisante (galerie fermée avec deux buses de faible diamètre pour assurer l'écoulement) au regard des importants apports périodiques.

D'après le témoignage des spéléologues, il a été observé un même niveau de battement de l'ordre de 20 m dans la concession de Tourves, entre le puits Tourtin Audibert (P1) et le puits I (P2)

Les travaux miniers récents situés en amont des niveaux de nappes profondes sont drainés par les galeries et ne sont probablement pas noyés. De manière synthétique, il est estimé que ces travaux sont ennoyés au-delà d'une centaine de mètres de profondeur. En revanche des niveaux d'eau plus superficiels (petites nappes perchées) sont envisageables dans les travaux anciens à l'affleurement non connectés aux travaux modernes.

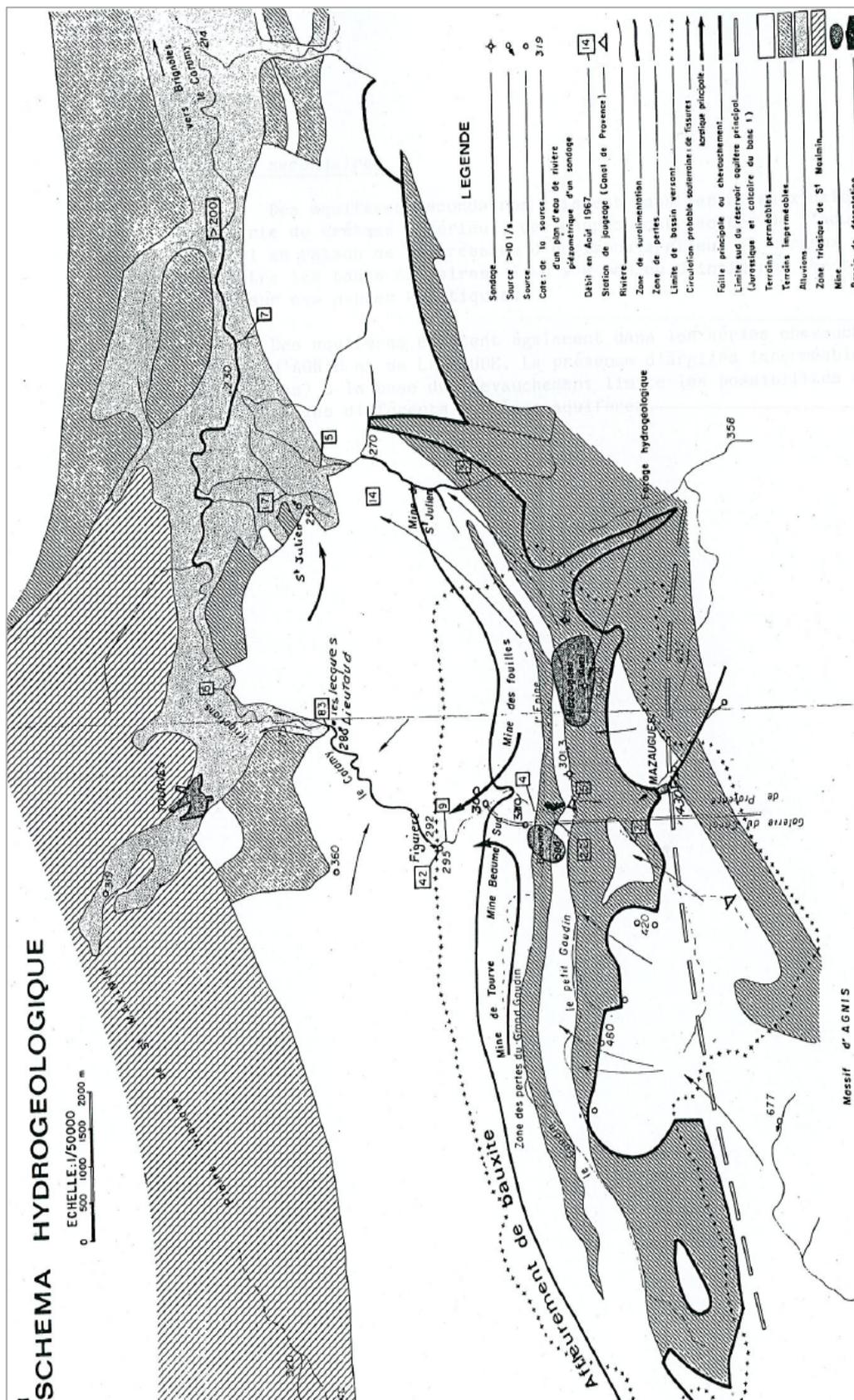


Figure 11 : Schéma hydrogéologique de la zone d'étude (source DADT)

6 HISTORIQUE ET DESCRIPTION DES TRAVAUX MINIERS

6.1 Permis d'exploitation de Rougiers

Des traces d'anciens travaux exécutés au cours de la première moitié du XX^{ème} siècle sont visibles dans la zone du vallon de la Capelette. Ils correspondent à des décapages superficiels le long des affleurements et à quelques amorces de galeries.

La société Aluminium Pechiney n'a effectué par la suite que des travaux de recherches par sondages à l'intérieur du permis d'exploitation de Rougiers. En 1957, une première campagne de forages est lancée sur une zone de 4 km² : il en résulte 42 sondages et 2430 m de longueur totale forée. En 1968, une deuxième campagne, couvrant le secteur est de la zone de Rougiers, comptabilise 15 sondages et 850 m de longueur totale forée. La minéralisation observées est plutôt réduite et silicieuse. De mars 1971 à mars 1972, une troisième campagne est effectuée dans la partie centrale avec 141 sondages et 5680 de longueur totale forée. Sur la période 1957 à 1972, c'est en définitive 8960 mètres qui ont été forés par 196 sondages.

Le gisement reconnu s'étend sur une longueur moyenne de 1000 m en direction nord est – sud-ouest à partir des affleurements. Il comporte deux lentilles minéralisées, la plus profonde ayant un recouvrement calcaire de l'ordre de 60 m. La ressource alumineuse en place a été estimée à 375 000 tonnes de qualité médiocre (Al_2O_3 : 54 % et SiO_2 : 8 %), soit un tonnage exploitable de 280 000 tonnes avec de grandes contraintes (proximité du massif protégée de la Sainte-Baume, exploitation en souterrain imposée).

Par arrêté ministériel du 22 novembre 1991, la société Aluminium Pechiney est autorisée à renoncer au permis d'exploitation de mines de bauxite, dit de Rougiers, insitué à son profit par arrêté ministériel du 5 décembre 1986.

6.2 Concession de Tourves

Les premiers travaux miniers ont débuté en 1931 avec le démarrage de l'exploitation souterraine des lentilles 1 et 2.

A l'amont de la lentille 2, d'anciens travaux miniers réalisées par Pechiney sur le secteur de la Baume Nord de 1930 à 1949, ont été exploités en découverte de 1961 à 1983, avec quelques interruptions en 1975, 1976 et de 1979 à 1982, par la société française pour l'industrie de l'Aluminium, devenue depuis la Société Alusuisse France. Enfin, des travaux à ciel ouvert à proximité des affleurements et à l'amont de la lentille 1 ont été réalisés de 1974 à 1987.

Par arrêté ministériel du 29 septembre 1981, la société Alusuisse France, a obtenu un permis d'exploitation de mines de bauxite dit permis de Tourves II, pour une durée de 5 ans, portant sur une superficie réduite de 11.53 km². Le décret du 21 septembre 1987 a institué au profit de la Société Alusuisse France la concession de Tourves.

En définitif, ce sont 3 348 300 tonnes de bauxite qui ont été extraites en souterrain et 817 000 tonnes à ciel ouvert soit un total de 4 165 300 tonnes de 1931 à 1987.

En 1988, la renonciation est demandée car toutes les zones techniquement et économiquement exploitables l'avaient été et il ne subsiste que des dépôts de bauxite inexploitable. Par arrêté préfectoral du 5 février 1990, il a été donné acte à la société Alusuisse France de sa déclaration d'abandon des travaux. La renonciation à la concession est acceptée par arrêté ministériel le 27 avril 1992.

6.3 Permis d'exploitation de Mazaugues

Les premiers points d'exploitation se sont développés le long des affleurements dans les lieux dits « La Caire de Sarrazin » et « La Crau de Sarrazin ». Ils se sont traduits par de petits grattages à ciel ouvert et quelques galeries de reconnaissance de 1860 à 1920. La principale société de l'époque était celle de Monsieur Lions au lieu-dit « La Caire ». De 1930 à 1940, des exploitations sélectives dispersées permettent d'extraire des minerais de très bonne qualité à faible profondeur. Le tonnage est estimé à 7 000 tonnes. Dès 1940, les travaux dits de « La Caire » et « Les Trois Pins » s'approfondissent et permettent une meilleure connaissance du gisement de bauxite.

Les campagnes de sondages débutent en 1954 par la société Aluminium Pechiney. La reconnaissance de ce gisement devient systématique jusqu'en 1971. Elles mettent en évidence des lentilles plus profondes telles que « Les Fouilles », « Bezud », « Baume-Sud » et « Mazaugues-Aval ». Le dernier permis d'exploitation accordé à la société Aluminium Pechiney le 29 septembre 1981 est celui dits de Mazaugues II, d'une superficie de 12,15 km², dont la validité a expiré le 27 octobre 1986.

Par arrêté préfectoral du 30 mai 1989, il a été donné acte à la société Aluminium Pechiney de la bonne exécution des mesures d'abandon des travaux miniers sur le permis d'exploitation de Mazaugues II.

6.4 Concession de St Julien

Les premiers travaux miniers ont débuté en 1950 avec le démarrage de l'exploitation souterraine de la lentille 1. La lentille 2 a ensuite été exploitée à partir de 1957. En 1961, la société des Bauxites de France a sollicité un permis d'exploitation de bauxite d'une superficie de 9,42 km². Ce permis a été transféré le 24 mai 1967 à la Société Française pour l'industrie de l'Aluminium, devenue plus tard la Société Alusuisse France. Les travaux d'extraction de bauxite de la lentille 3 commencent en 1963 et se finiront en 1977 avec une interruption de 1967 à 1968. Des travaux à ciel ouvert sont aussi entrepris de 1954 à 1961 et 1970 mais c'est surtout à partir de 1975 que les décapages ont pris leur extension. Le 19 septembre 1980, un permis réduit a été accordé pour une durée de 5 ans portant sur une superficie de 5,77 km² dénommé St Julien II. En 1987, un décret a institué la concession de St Julien au profit de la société Alusuisse France. L'extraction s'est poursuivie jusqu'en fin 1987, date de fermeture de la mine par épuisement des réserves exploitables.

Par arrêté préfectoral du 7 août 1989, il a été donné acte à la société Alusuisse France de la bonne exécution des mesures d'abandon des travaux miniers de la concession de Saint-Julien. Une demande en renonciation de la concession est alors formulée. Elle est acceptée par arrêté ministériel du 27 avril 1992.

6.5 Permis d'exploitation d'Engardin

L'époque des premiers travaux est assez imprécise. La société Candelon (entreprise Roudeyrac) serait à l'origine des premières exploitations en affleurement dès le début des années 1900. Ses droits furent cédés à la SGBM (Société Générale des Bauxites du Midi) en octobre 1943. De 1943 à 1945, quatre chantiers sont exploités dans la zone des Ourettes à l'extrémité est du titre minier actuel. Les droits de la SGBM ont été vendus en 1946 à la société SYNTEX devenue en 1960 la Société d'Electro-Chimie d'Electro-Métallurgie et des Aciéries Electriques d'Ugine (SECEMAEU). Parallèlement, la société Pechiney réalise entre

1945 et 1946 les travaux souterrains de « La Forge », à l'ouest d'Engardin. Tous ces travaux miniers sont réalisés au-dessus du niveau hydrostatique dans des zones proches des affleurements. Dès octobre 1956, Aluminium Pechiney a engagé d'importantes campagnes de sondages (249 forages totalisant un métrage de 42 000 m) qui se sont poursuivies jusqu'en mai 1972. A cette date, les réserves géologiques estimées étaient de l'ordre de 6.5 millions de tonnes de bauxite.

En 1976, une nouvelle estimation de 730 000 tonnes de réserves exploitables ou conditionnelles est faite en tenant compte des critères miniers, économiques, sécuritaires, ainsi que du contexte géologique et hydrologique (lentille profonde, failles importantes, fort pendage de couche...). Le dernier permis d'exploitation accordé à la société Aluminium Pechiney le 29 septembre 1981 est celui dits d'Engardin II, d'une superficie de 13,46 km² et pour une période de validité de 5 ans. L'exploitation s'arrête le 28 septembre 1986.

Par arrêté préfectoral du 11 mai 1988, il a été donné acte à la société Aluminium Pechiney de la bonne exécution des mesures d'abandon des travaux miniers du permis d'exploitation d'Engardin.

6.6 Permis d'exploitation de Les Pourraques

L'exploitation de Les Pourraques est constitué de deux quartiers : le quartier Pelicon et le quartier Tombarel.

Concernant le quartier Pélicon, la première déclaration de carrière fut faite par M. Testard le 21 avril 1903 sur un terrain appartenant à M. Fourni aux lieux dits « Pélicon » et « aux Pourraques ». Son exploitation s'effectuait à ciel ouvert et par tranchées. En février 1907, Bauxites de France déclara l'ouverture d'une carrière quartier Pélicon puis le fit de nouveau en décembre 1908 toujours au quartier Pélicon sur les terrains de Mlle Barbaroux, pour un chantier souterrain. Bauxites de France exploita la carrière jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale. Après la guerre, Pechiney reprit Pélicon jusque vers le milieu des années 1960.

Concernant le quartier « Tombarel », l'ouverture d'une carrière à ciel ouvert a été faite en 1897 par M. Schmitt sur les terrains de M. Ricard. Le 13 avril 1920, c'est la Société de l'Union des Bauxites qui reprit l'exploitation en souterrain. Elle exploitera le gîte jusqu'en 1930, date à laquelle la carrière fut abandonnée. Elle fut reprise dans les années 1960 par Pechiney (octroi du permis d'exploitation dit de « Les Pourraques » le 23 mai 1962) puis par la société CEVB (Comptoir d'Extraction et de Vente de Bauxites).

Il n'y a pas de DADT de l'exploitation car la société CEVB a fait faillite avant. Par courrier du 11 janvier 1978, l'Ingénieur en Chef des Mines a fait savoir au liquidateur de la société CEVB qu'il donnait acte de la déclaration d'abandon de travaux après récolement des travaux de fermeture des exploitations des Pourraques.

6.7 Permis d'exploitation de Merlançon

L'exploitation de Merlançon est constitué de trois quartiers : le quartier Merlançon, Fontlade et La Rouge.

Vers 1890, c'est M. Lion qui était propriétaire de terrains de bauxites quartier Merlançon. En mars 1897, Blanc Augustin déclara y exploiter une carrière. Une déclaration similaire est faite par l'Union des Bauxites en juin 1907. En 1922, c'est la société Comptoir d'Extraction et de Vente de Bauxites (CEVB) qui reprenait le site de Merlançon pour l'occuper jusque vers 1972. Le 24 juillet 1918, la Société Nouvelle des Bauxites du Sud-Est déclara une carrière souterraine quartier « Fontlade ». Le chantier fut arrêté en 1926. Repris par Pechiney puis par la société CEVB en 1933, la carrière s'est confondue avec celle de Merlançon à partir de 1935.

Concernant le quartier « La Rouge », la première déclaration d'exploitation fut le fait de la Société Française pour l'Industrie de l'Aluminium (SFIA) le 11 août 1922 sur les terrains de M. Depieds. A partir de 1925, le chantier fut inexploité mais il reprit à ciel ouvert et en souterrain par l'Union des Bauxites, le 14 mars 1933. En 1955, la société CEVB reprit à « La Rouge » d'anciens travaux souterrains à ciel ouvert. Il leur accordé le permis d'exploitation dit de « Merlançon » le 18 novembre 1968.

Il n'y a pas de DADT de l'exploitation car la société CEVB a fait faillite avant. Par courrier du 11 janvier 1978, l'Ingénieur en Chef des Mines a fait savoir au liquidateur de la société CEVB qu'il donnait acte de al déclaration d'abandon de travaux après récolement des travaux de fermeture des exploitations de Merlançon.

7 CARACTERISTIQUES DES TRAVAUX MINIERS

7.1 Permis d'exploitation de Rougiers

Peu d'information sont disponibles sur cette exploitation. Seuls quelques travaux de décapages, puits et descenderies ont été réalisés au début du siècle, puis de nombreux sondages de recherche à partir du milieu du XX^{ème} siècle. Sur le site, seules quelques galeries de faible section (hauteur 1,5 m, largeur 1 m) et d'accès probable à de vieux travaux ont été observées.

7.2 Concession de Tourves

En souterrain, la méthode d'exploitation utilisée est celle des chambres et piliers abandonnés. Les premiers travaux exploitent la couche de bauxite calcaire mais laissent en place la couche de bauxite siliceuse moins épaisse qui sera par contre reprise durant les travaux modernes. Dans chacune des deux lentilles de cette concession, l'infrastructure principale est constituée par 2 galeries, chacune de 300 m de long avec une section de 14 m² et un pendage de 10°. Elles sont creusées en couche et permettent la circulation de divers engins d'exploitation.

Deux secteurs ont été exploités à ciel ouvert. A la Baume Nord, le décapage de 1 200 000 m³ de stériles calcaréo-marneux a été effectué puis le réaménagement du site au premier trimestre 1988 avec le nivellement du fond de caisse, le bouchage de toutes les galeries mettant en communication jour et fond et le reprofilage des terrils. En amont de la lentille 1, ce fut 300 000 m³ de calcaires qui ont été décapés puis la décharge a été nivelée et a fait l'objet d'une opération de reboisement (pin d'Alep et chênes verts).

7.3 Permis d'exploitation de Mazaugues

Cette exploitation est la plus importante et elle regroupe plusieurs quartiers.

Les travaux du quartier dit de la « Caire Amont », réalisés de 1938 à 1940, sont pour la plupart à ciel ouvert placés sur l'affleurement avec quelques galeries de recherche. Le secteur ouest de la descenderie de La Caire a été exploité par la méthode de foudroyage par dépilage (cf. figure 12) sur une faible surface d'environ 800 m² sous un recouvrement allant de 3 à 15 m. Cette exploitation fut reprise de 1948 à 1951 et de 1953 à 1970.

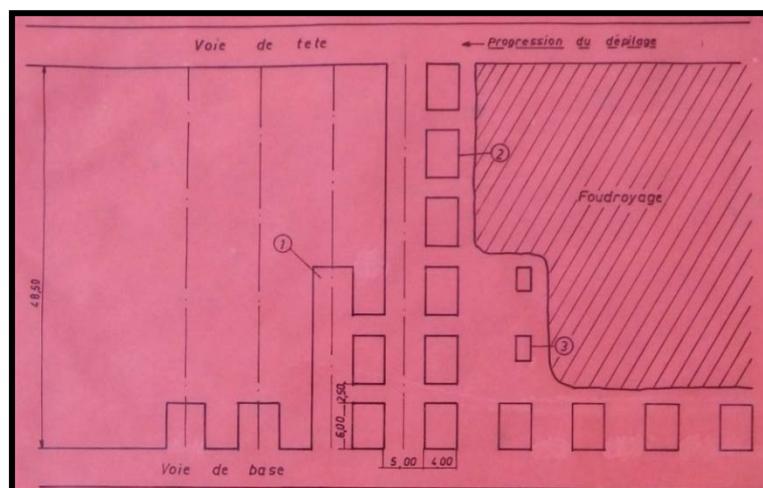


Figure 12 : Méthode de foudroyage par dépilage (source DADT)

L'exploitation du quartier dit des « Fouilles » s'est déroulée de 1948 à 1971. Quatre descenderies prenaient naissance à l'affleurement (aux lieux dits les Trois Pins, la Caire et les Fouilles). En 1963, une galerie en travers bancs sur une pente de 36° dite de Bezud a été construite pour l'aéragé du chantier. Elle fut reliée plus tard aux travaux de la lentille 1 et 2 de Mazaugues Aval, permettant ainsi l'aéragé des lentilles 1, 2 et 3. La méthode utilisée est celle du foudroyage par torpillage des piliers (cf. figure 13), la puissance moyenne des lentilles étant de 4 m. Au niveau des Fouilles Ouest, il y a eu un décapage sur l'affleurement, décapages nommés Nicollet et Vautruite, qui se sont déroulés de 1968 à 1970.

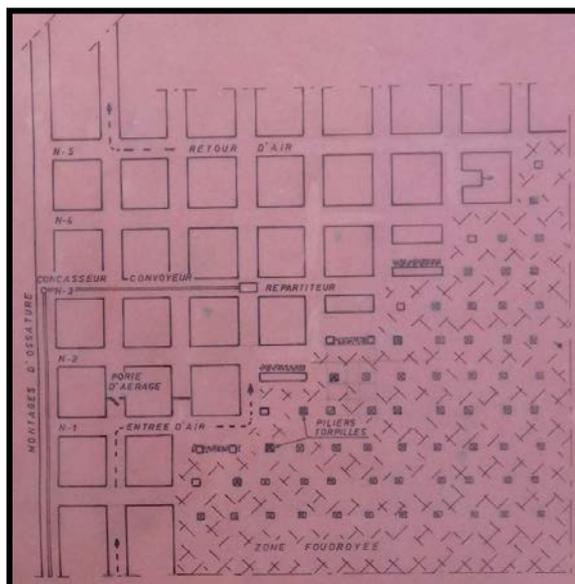


Figure 13 : Méthode de foudroyage par torpillage des piliers – phase de torpillage (source DADT)

Remarque : les deux méthodes de foudroyage citées correspondent à des exploitations ayant pour objectif de prendre le maximum de minerai (exploitations dites « totales »). Elles aboutissent chacune à la rupture du toit et l'affaissement des terrains de recouvrement. Dans le premier cas, la rupture est obtenue « naturellement » par la contrainte trop forte agissant que les piliers dégraissés. Dans le second, la rupture est dite « provoquée » par le torpillage des quilles (piliers résiduels). Le foudroyage est ainsi mieux contrôlé dans ce second cas. Il permet d'éviter l'abandon de zones de quelques piliers (et ainsi la présence de vides résiduels) n'ayant pas rompu par dégraissage insuffisant ou à cause d'une meilleure résistance des piliers et/ou du toit.

Les travaux du quartier dit de la « Baume St Michel » sont des travaux de recherche, à partir de l'affleurement en rive gauche du Caramy. Ils consistent en deux galeries creusées dans la bauxite entre toit et mur (section 2.5 x 2 m², 98 m de long pour la galerie Sud et 120 m pour la galerie Nord). Des recoupes font la liaison entre les deux galeries.

Le quartier dit de « La Baume Sud » correspond à une lentille située à l'extrême ouest du permis de Mazaugues, dans le prolongement aval de celle anciennement exploitée dans le quartier dit de la « Baume Nord ». Les travaux se sont étalés de 1965 à 1970 par le creusement de deux descenderies en travers bancs. Cette lentille était caractérisée par une épaisseur de couche variant de 2 m sur la bordure à 8 m au centre. La puissance moyenne exploitée a été de 3,50 m.

Le dernier quartier à avoir été exploité entre 1970 et janvier 1985 est celui de « Mazaugues-Aval ». La minéralisation discontinue a donné lieu à une exploitation sur quatre lentilles distinctes, sous le niveau hydrostatique. A partir du carreau, une descenderie de 1100m de long (900m à 30 % de pente et 200 m à 20 % de pente) et de 15 m² de section a été creusée. Deux travers bancs ont relié les lentilles Est et Ouest. La méthode est celle des chambres et piliers avec foudroyage. Le taux de défrêtement a atteint 80 %. L'exploitation a commencé par la lentille 3, puis la lentille 1, 2 et 2 bis, reliés aux travaux des Fouilles Aval par travers bancs pour l'aérage. La lentille 4 a été la dernière à être exploitée. Son aérage a été réalisé par un puits vertical situé au sommet de la lentille. La partie nord de la lentille 4 a récupéré une partie de l'aval de la lentille de la Caire.

7.4 Concession de St Julien

La méthode d'exploitation est celle des chambres et piliers abandonnés et foudroyés. Cette méthode permet un taux défrêtement de 75 %. L'infrastructure se compose de deux descenderies : l'une en bordure Est de la lentille 2, creusée en couche selon la ligne de plus grande pente du gisement et l'autre creusée dans le toit de la couche.

Pour la lentille 1, la partie aval a connu un développement plus important que la partie amont grâce à deux descenderies en couche, l'une à l'extrême est, l'autre dans la partie médiane. La lentille 2 a été reconnue à partir d'une galerie de la lentille 1. L'exploitation de la zone amont jusqu'à l'affleurement a été effectuée à partir de deux montages parallèles. L'aval de la lentille a été reconnue jusqu'à l'arrêt de la minéralisation. La lentille 3 a été reconnue par traçage à partir de la lentille 2. La partie aval, entrecoupée de failles, n'a permis de récupérer que des poches de bauxite isolées. La partie amont s'est très peu développée en raison d'une puissance faible et d'une qualité médiocre de la bauxite.

Concernant les travaux à ciel ouvert (en amont de la lentille 1), trois secteurs ont fait l'objet de décapage pour une superficie totale de 3.6 ha et un volume de 400 000 m³. L'exploitation, qui a eu lieu de 1975 à 1988, s'est déroulée sur un à deux gradins avec des hauteurs moyennes de 12 à 15 m laissant une banquettes résiduelle de 5 m de large.

7.5 Permis d'exploitation d'Engardin

Le pendage important de la couche de bauxite d'Engardin a conditionné l'utilisation de méthodes d'exploitation en dressant.

Jusqu'en 1976, l'exploitation s'est limitée au panneau amont pendage, ce qui offrait deux avantages : l'absence de venues permanentes et d'écoulement naturel des eaux d'infiltration par le travers-bancs mais aussi l'utilisation de la gravité pour l'évacuation des produits. L'exploitation était difficile dans les quartiers ouest et du Pin et quasi-impossible dans le quartier Trébuquet où les failles étaient nombreuses. Ces difficultés ont incité la mise en exploitation de la lentille « Aval Ouest » située sous le niveau hydrostatique. Les travaux se composaient de deux descenderies parallèles tracées en couche. Dans une première phase, à partir des descenderies, des galeries sensiblement horizontales, par groupe de trois, distantes chacune de 15 m étaient creusées. Dans une deuxième phase, lorsque le traçage des trois niveaux fut mené jusqu'aux limites de la lentille, la tranche était défilée par élargissement et défonçage. Les piliers résiduels étaient torpillés pour provoquer un foudroyage dirigé des terrains.

7.6 Permis d'exploitation de Pourraques

N'ayant pas de DADT, les seules informations disponibles sont quelques plans retrouvés au Musée de la Bauxite de Tourves.

Le plan de la mine de Pélicon montre une exploitation par chambre et piliers abandonnés, dépilés par endroit. Les travaux atteignent la surface (zone de grattage) et s'enfoncent rapidement à plus de 200 m de profondeur.

7.7 Permis d'exploitation de Merlançon

N'ayant pas de DADT, les seules informations disponibles sont quelques plans retrouvés au Musée de la Bauxite de Tourves.

Le plan de la mine de Merlançon montre la présence de galeries et de chambres et piliers entièrement dépilés ainsi que des grattages en surface. La mine de « La Rouge » a été recoupée à ciel ouvert mais présente encore des zones de chambres et piliers en état d'après les plans consultés. Les travaux ne sont plus accessibles à l'exception d'une descenderie (ODJ n° 177) ouverte de 5 x 5 m et pénétrable sur une profondeur de 90 m puis ennoyée. Cette descenderie n'apparaît sur aucun plan et vu son importance, il est à supposer que certains plans n'ont pas été retrouvés.

8 PROFONDEUR ET EXTENSION DES TRAVAUX - VOLUME DES VIDES

La profondeur des travaux miniers est fonction de la topographie des terrains de surface au droit des quartiers exploités et des configurations de travaux miniers. Le tableau ci-après détaille pour chaque exploitation et chaque quartier le nombre de couches exploitées et les profondeurs minimale et maximale des travaux correspondants.

Concession/PEX	Quartiers d'exploitation	Cote surface min-max (en mètre NGF)	Cote fond min-max (en mètre NGF)	Profondeur en mètre
ROUGIERS	<i>Tout le PEX</i>	455-600	<i>inconnue</i>	<i>probablement < 50 m</i>
TOURVES	Escaillon	420-450	372-447	0 à 60
TOURVES	Quartiers Ouest (secteurs 1 et 2)	400-440	317-440	0 à 100
TOURVES	Quartiers Est (secteurs 3 et 4)	370-415	270-415	30 à 90
TOURVES	Baume Nord	365-395	312-375	10 à 50
MAZAUGUES	Baume Sud	360-380	225-369	60 à 140
MAZAUGUES	Baume Saint-Michel	330-385	320-350	0 à 30
MAZAUGUES	Mazaugues Aval	360-500	100-300	85 à 400
MAZAUGUES	La Caire	385-400	380-390	0 à 30
MAZAUGUES	Les Fouilles	390-415	325-415	0 à 90
MAZAUGUES	3 Pins	380-410	325-405	0 à 60
MAZAUGUES	Nicollet	415-435	360-435	0 à 65
MAZAUGUES	Vautruite	455-460	<i>inconnue</i>	-
SAINTE-JULIENNE	<i>Toute la concession</i>	300-440	190-430	15 à 170
ENGARDIN	Forge	300-335	295-325	0 à 40
ENGARDIN	Nord-Ouest Sud-Ouest Sud-Est	330-400	100-385	10 à 280
ENGARDIN	Pin	360-425	250-400	15 à 140
ENGARDIN	Trebuquet	395-480	250-460	25 à 165
ENGARDIN	Candélon	365-420	<i>inconnue</i>	-
MERLANCON	Fontlade	275-310	135-205	70 à 170
MERLANCON	Merlançon	270-315	98-230	40 à 160
MERLANCON	La Rouge	300-375	275-305	0 à 100
POURRAQUES	Pelicon	255-300	30-250	50 à 270
POURRAQUES	Collet Rouge	265-290	225-270	5 à 70

Tableau 2 : Profondeurs estimées des travaux souterrains exploités par secteurs

9 PRODUCTIONS

L'exploitation la plus importante est celle de Mazaugues notamment les quartiers « Les Fouilles » (avec 4 654 kT de bauxite extraite) et « Mazaugues Aval » (avec 5700 kT de bauxite extrait). La production a atteint 621 kT/an en 1972, niveau record pour les mines de bauxite française. L'exploitation d'Engardin, les concessions de Tourves et St Julien ont extrait, quant à elles, entre 2000 et 4200 kT de bauxite.

Le tableau ci-dessous (cf. tableau 3) décrit le tonnage de bauxite produit sur la durée de l'exploitation en fonction des exploitations.

Titre minier	Commune concernée	Superficie (ha)	Dernier titulaire	Production de bauxite (Tonnes)
Rougiers (PEX)	Mazaugues Rougiers	292	Aluminium Pechiney	inconnue
Tourves (concession)	Mazaugues Rougiers Tourves	1153	Alusuisse France	4 165 317
Mazaugues (PEX)	Mazaugues Tourves La Roquebrussanne	1215	Aluminium Pechiney	12 180 700
St Julien (concession)	Tourves La Roquebrussanne La Celle	577	Alusuisse France	2 425 300
Engardin (PEX)	Brignoles La Roquebrussanne La Celle	1346	Aluminium Pechiney	2 850 000
Les Pourraques (PEX)	Camps la Source Brignoles La Celle	2000	Comptoir d'Extraction et de Vente de Bauxites	inconnue
Merlançon (PEX)	Brignoles	210	Comptoir d'Extraction et de Vente de Bauxites	inconnue

Tableau 3 : Production des exploitations étudiées

L'évolution de la production annuelle des concessions de Saint Julien et Tourves n'est pas la même. L'exploitation de Tourves a produit en moyenne 120 kT/an des années 1950 à 1970 alors que pour l'exploitation de Saint-Julien, il y a eu 2 phases de production : une des années 1951 à 1965 et une autre des années 1971 à 1988. Les graphiques des figures ci-après (cf. figures 14 et 15) donnent un aperçu de la production au fil des années.

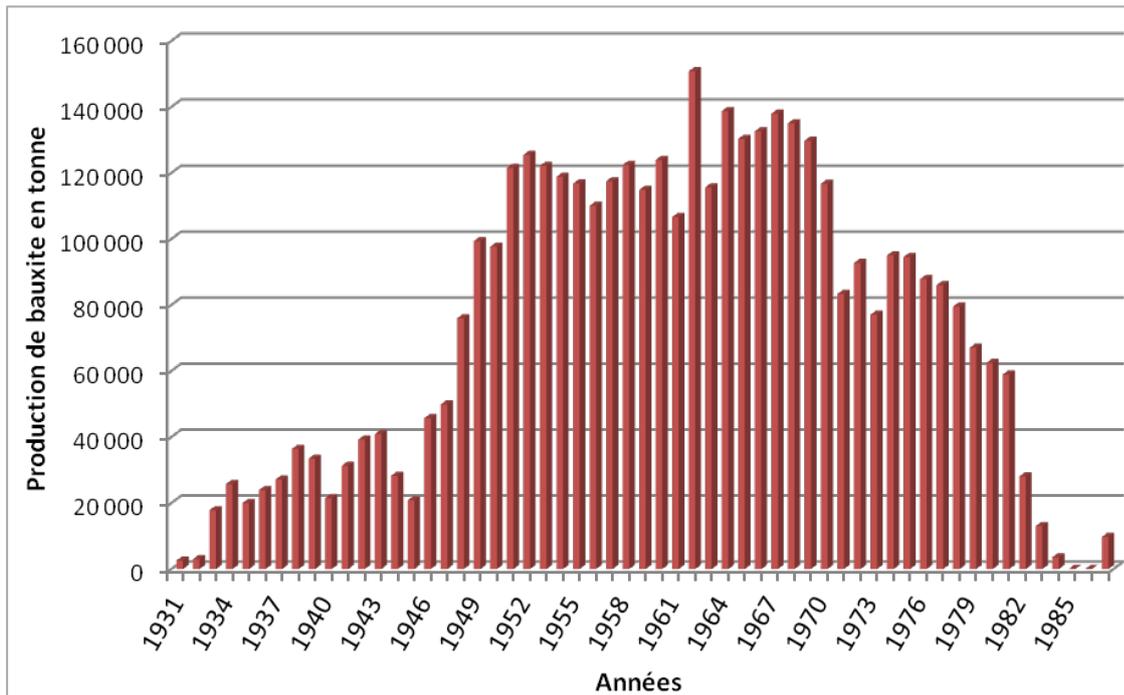


Figure 14 : Historique de la production de la concession de Tourves (source DADT)

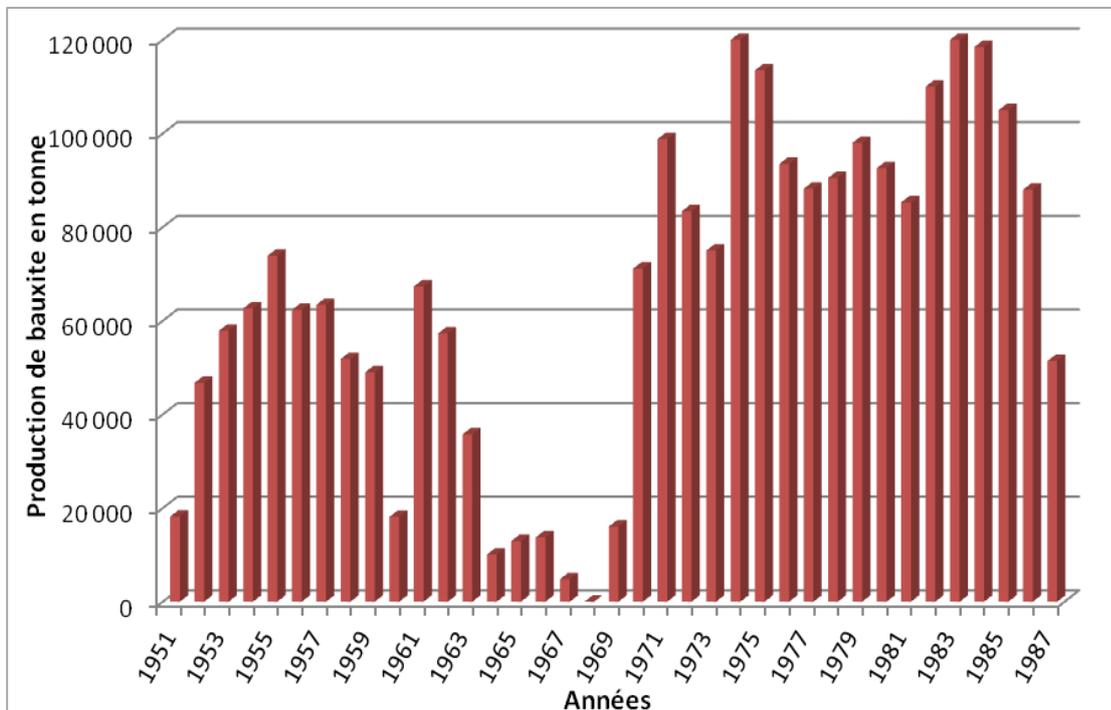


Figure 15 : Historique de la production de la concession de Saint-Julien (source DADT)

10 ETAT ACTUEL DU SITE

10.1 Ouvrages débouchant au jour

Au total, 192 ouvrages débouchant au jour ont été répertoriés sur les sept titres miniers. Il s'agit d'entrées de galerie, de descenderies et de puits. La répartition des ODJ sur les différentes exploitations est détaillée dans le tableau suivant :

Titres miniers	Matérialisés	Non retrouvés / Non recherchés	Total
Rougiers	22	10	32
Tourves	17	33	50
Mazaugues	19	22	41
Saint Julien	9	9	18
Engardin	8	18	26
Pourraques	3	12	15
Merlançon	4	6	10
Total	82	110	192

Tableau 4 : Répartition des ouvrages par titres miniers étudiés

L'annexe 2 présente la liste complète des ODJ recensés et détaille les informations disponibles les concernant, en particulier les travaux de fermeture réalisés dans le cadre de l'arrêt des travaux et répertoriés dans les DADT.

Onze puits (sur 49 puits répertoriés), 53 galeries (sur 107 galeries répertoriées) et 18 descenderies (sur 36 descenderies répertoriées) ont été matérialisés sur la zone d'étude.

Les incertitudes de position des ouvrages cartographiés s'échelonnent entre 5 m (ouvrage matérialisé et levé au dGPS) et 13 m ou 33 m pour ceux localisés uniquement sur plan.

10.1.1 Informations sur les puits

La tête des puits observés sur le terrain est généralement rectangulaire ou circulaire avec un diamètre compris entre 1,4 m et 3,3 m. Ces ouvrages ont été pour la plupart remblayés et/ou scellés par une dalle en béton armé. Seul le puits 5 « Callas 1 » de 3 mètres de diamètre est ouvert sur une hauteur d'environ 8 m.

Concernant les 5 puits retrouvés et remblayés mais non dallés, des tassements sont observables allant de 0,5 m à 3,80 m et laissant apparaître le revêtement de la colonne en béton ou en brique.

Les autres puits sont dallés mais non remblayés sauf le puits 11 d'aérage de Vautruite entièrement remblayé puis dallé. Trois de ces quatre puits simplement dallés possèdent un regard ce qui a permis de voir la nature et l'état du revêtement.

10.1.2 Information sur les galeries

Parmi les 53 galeries matérialisées, 24 sont ouvertes, les autres étant soit murées, grillagées, remblayées ou effondrées.

Pour les galeries ouvertes :

- 17 sont vides. Elles donnent accès soit directement aux vieux travaux soit se prolongent de quelques mètres à une trentaine de mètres (à part la galerie 77 de Pourraques qui se prolonge sur 105 m) jusqu'à un effondrement. Leur toit est souvent fracturé ;
- 5 sont effondrées et donc accessibles sur une longueur de 1 m à 16 m à partir de l'entrée ;
- 2 sont remblayées mais néanmoins accessibles sur une dizaine de mètres.

10.1.3 Informations sur les descenderies

Parmi les descenderies matérialisées, 5 sont ouvertes sur une profondeur variable allant de 20 à 60 m. La progression est stoppée par un mur ou l'ennoyage.

Les autres descenderies sont talutées, murées, remblayées ou munie d'un bouchon. Un tassement des remblais est visible sur l'entrée G41 (Descenderie de la Caïre).

10.2 Les dépôts

L'annexe 5 récapitule les caractéristiques de chacun des dépôts miniers.

Les stériles provenant du creusement des travaux, forment des dépôts d'ampleur variable (volume allant de moins de 500 m³ à plus de 100 000 m³). Ces dépôts sont constitués généralement de bauxite et/ou de calcaire avec des stériles dont la granulométrie varie de quelques millimètres à quelques décimètres. Ils correspondent à des plaquages d'épaisseur décimétriques à métriques déversés le plus souvent en aval des entrées de galeries. La majorité des dépôts sont en partie ou entièrement végétalisés (à l'exception de V31).

Soixante-neuf zones de dépôt ont été cartographiées. Leurs contours ont été tracés sauf pour les petits dépôts de moins de 500 m³, où seul le centre du dépôt est repéré par un point :

- 33 dépôts ont une pente inférieure à 10° et ne présentent pas de signe visible d'instabilité à l'exception du dépôt V33. Son volume est compris entre 10 000 et 100 000 m³ et résulte du remblayage des têtes de chantiers de l'exploitation d'Engardin. En raison de la présence de travaux miniers peu profonds sous le dépôt, il a été observé localement que le remblai coulissait dans les anciennes chambres d'exploitation rendant ainsi la surface instable ;
- 18 dépôts ont une pente comprise entre 10° et 30° et ne présentent pas de signe visible d'instabilité à l'exception du dépôt V21 montrant quelques traces de ravinements ;
- 18 dépôts ont une pente supérieure à 30° avec une hauteur pouvant atteindre 5 m. Le dépôt V26 atteint 15 m de hauteur. Les dépôts V8, V10, V11, V26, V32, V35 et V36 peuvent présenter des instabilités (ravinements) de par leur configuration.

10.3 Les travaux à ciel ouvert

34 travaux à ciel ouvert ont été répertoriés. L'annexe 4 liste les travaux à ciel ouvert. Il s'agit d'excavation ayant laissé des fronts de tailles plus ou moins importants. Certains peuvent atteindre plus de 20 m de hauteur. L'érosion de ces fronts est très active se traduisant par de nombreuses chutes de blocs (cf. figure 16). Certaines de ces excavations ont été partiellement ou totalement remblayées. Lorsque c'est le cas, la végétalisation est en cours.



Figure 16 : Vue des fronts rocheux (quartier de la Baumen Nord, PEX de Mazaugues)

10.4 Les désordres

En dehors des ravinelements observés sur certains dépôts, deux types de désordres ont été pu être identifiés sur le terrain :

- des effondrements localisés,
- des effondrements très étendus au droit de zone de défilage.

La répartition des désordres recensés sur les différentes concessions est présentée dans le tableau suivant. Au total, 48 désordres ont été relevés sur le terrain.

Exploitations	Effondrement localisé	Effondrement très étendus	Total
Rougiers	0	0	0
Tourves	21	0	21
Mazaugues	14	4	18
Saint Julien	2	0	2
Engardin	4	0	4
Pourraques	1	0	1
Merlançon	2	0	2
Total	44	4	48

Tableau 5 : Répartition des désordres par catégorie et par exploitation

L'ensemble des désordres relevés à l'issue de la phase informative est présenté dans le l'annexe 3, dans lequel sont détaillées toutes les dimensions de chacun d'eux.

La majorité des désordres (44 désordres sur 48) correspond à des effondrements localisés et sont situés pour 36 d'entre eux sur les exploitations de Tourves et Mazaugues. 37 de ces effondrements ont un diamètre variant entre 1 et 4 m pour une profondeur moyenne de 1 m. Ils sont situés au-dessus de travaux miniers de type chambres et piliers abandonnés à moins de 30 m de profondeur.

Les quatre désordres D42 à D45 sont la conséquence d'un coulissage des remblais des chambres exploitées en dressant dans la voie de base ou d'une rupture de couronne en tête de chantier.

Certains effondrements sont, quant à eux, au-dessus d'un travers bancs (D47) ou d'une galerie (D41).

Sept effondrements sont relativement importants avec un diamètre moyen variant entre 5,5 m et 17 m. Les désordres D9, D29, D35, D38 de 6 m de diamètre en moyenne et de 3 m de profondeur sont situés pour le premier sur la concession de Tourves et les autres sur le PEX de Mazaugues au-dessus de travaux entre 5 à 10 m de profondeur.

Les désordres D16, D17 (concession de Tourves) et D39 (PEX de Mazaugues), situés au-dessus de travaux entre 5 à 10 m de profondeur, ont un rayon de 13 m en moyenne.

Quatre effondrements très étendus ont été relevés essentiellement sur l'exploitation de Mazaugues :

- le désordre D30 est le plus étendu avec une longueur d'environ 100 m par 50 m de largeur et une profondeur de 1.5 m en moyenne. Il se situe au-dessus d'une zone où les travaux ont été foudroyés. La zone de travaux est entre 5 et 17 m de profondeur ;
- les désordres D31 et D37 sont moins étendus avec une longueur comprise entre 20 et 50 m et une largeur de 15 à 20 m. La profondeur atteint 3 m par endroit. Ils se situent eux aussi au-dessus d'une zone où les travaux, pouvant atteindre 25 m de profondeur, ont été foudroyés ;
- enfin, le désordre D24 avec une surface d'environ mille mètres carrés et une profondeur par endroit de 3 mètres. Il est situé au droit de vieux travaux et correspond certainement à la ruine de plusieurs piliers.



Figure 17 : Effondrement en masse D30



Figure 18 : Effondrement localisé D22

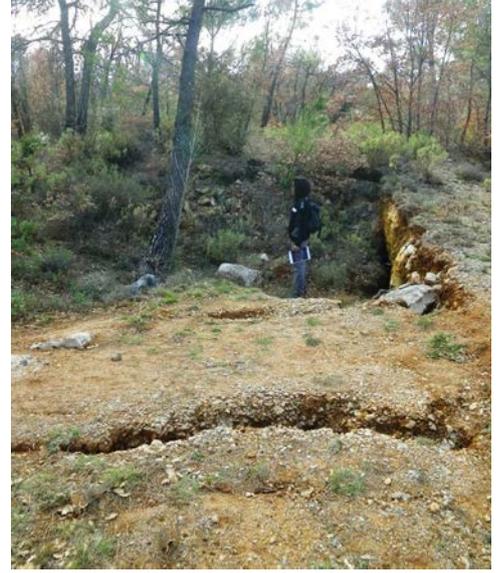


Figure 19 : Effondrement localisé D37



Figure 20 : Effondrement localisé D43

10.5 Les anciennes installations de surface

De nombreux vestiges des exploitations minières sont encore visibles aujourd'hui.

En surface, des anciens bâtiments délabrés, de vieux hangars, des câbles, des morceaux de rails sont autant de marques de l'exploitation minière passée. Les plus marquants sont les restes du hangar près de la descenderie D (G25) de la Baume Sud (Mazaugues, cf. figure 21), ceux sur le quartier Pélicon (Pourraques, figure 22) ou encore sur Saint Julien (figure 23) ou Tourves.



Figure 21 : Hangar et rails près de la descenderie D (G25) de la Baume Sud (Mazaugues)



Figure 22 : Construction en ruine sur l'exploitation de Pourraques



Figure 23 : Bâtiment sur l'exploitation de Saint Julien

En souterrain, des anciens treuils, rails ainsi que des appareillages d'extraction sont visibles dans les galeries ou dans les travaux accessibles (cf. figures 24 et 25).



Figure 24 : Rails en place dans une galerie sur le quartier des Fouilles (PEX de Mazaugues)



Figure 25 : Vestiges souterrains des travaux miniers (concession de Tourves)

10.6 Gaz de mine et feux souterrains

L'aérage des exploitations de bauxite était assuré par des galeries et des puits. Il n'a été retrouvé aucun accident lié au gaz dans les archives. Lors des visites en souterrain des mesures de gaz effectuées en continu avec un MiniWarn et un MultiWarn Dräger n'ont pas révélé la présence de CH₄, CO₂ ou CO.

Concernant le risque feux souterrains, la mine de Mazaugues Aval a été le siège d'incendies à deux reprises, en particulier en septembre 1974, sur la lentille n° 2. Le faux toit, constitué de lignites pyriteux, s'est échauffé par oxydation due à l'aérage et a brûlé avec dégagement de gaz sulfureux. L'isolement des quartiers a été nécessaire pour l'extinction. Il n'est pas mentionné de victimes dans les archives.

10.7 Eléments relatifs à l'environnement

Aucun élément relatif à d'éventuelles analyses sur les dépôts et sur les eaux n'a été retrouvé dans les archives.

Les sources potentielles de pollution sont essentiellement constituées par les dépôts de résidus de traitement liés aux exploitations polymétalliques ainsi que les eaux superficielles et souterraines drainées par les vides miniers. Les sites du secteur étudié ont été intégrés à la hiérarchisation nationale, réalisée dans le cadre de la Directive sur les Déchets de l'Industrie Extractive (DDIE, cf. [3]). Les résultats de cette hiérarchisation sont synthétisés au paragraphe 14.2.1.

11 CARTOGRAPHIE INFORMATIVE ET SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

11.1 Géoréférencement des plans des travaux miniers

Les plans des travaux miniers consultés aux archives ont été photographiés ou scannés. Les relevés, effectués au dGPS (Trimble GEO XT), des ouvrages débouchant en surface ont constitué les principaux points de calage des plans des travaux miniers. A défaut d'ouvrage visible en nombre suffisant pour caler les plans, ce sont les repères topographiques du scan 25[®] de l'IGN ou des photographies aériennes (routes, carrefours, anciens bâtiments...) qui ont été utilisés comme points de référence. Certains plans, ne présentant pas assez de points de calage connus, ont été calés à l'aide de points calculés à partir de l'échelle et du repère d'orientation qu'est le nord magnétique (connu ou estimé) (cf. annexe 1).

Les plans cartographiques pertinents ont été recalés à l'aide du logiciel ER MAPPER[®] avant d'être exploités sous le logiciel MAPINFO[®]. Les travaux miniers ont été digitalisés (emprises des travaux et ouvrages) pour synthétiser et clarifier l'information sur le fond BD ORTHO[®] de l'IGN.

L'inventaire des plans qui ont été consultés sont classés dans un tableau descriptif en annexe 1.

11.2 Incertitudes de localisation

11.2.1 Incertitudes sur les ouvrages débouchant au jour et désordres

Pour chaque objet cartographié, une incertitude de localisation a été évaluée.

Les ouvrages débouchant au jour matérialisés et levés au dGPS ont une incertitude de localisation forfaitaire de 2 m. Cette marge comprend les incertitudes liées :

- à la position de l'opérateur lors du levé dGPS par rapport à l'ouvrage visé ;
- au levé dGPS.

Les ouvrages non retrouvés sur le terrain (positionnés à partir de plans géoréférencés) ont des incertitudes de localisation variant de 10 à 30 m. Cette marge est estimée en fonction de l'incertitude de calage du plan qui positionne l'ouvrage et des observations de terrain³. La marge d'incertitude peut-être tronquée ou variable selon la direction cardinale. En effet, la présence d'un repère topographique précis permet parfois d'estimer sans ambiguïté la position de l'ouvrage (par exemple, certitude que l'ouvrage se situe en rive droite d'une rivière d'après les documents d'archives, mais position incertaine par ailleurs). Dans le cas présent, la majorité des ouvrages repérés sur plans présente une cote « z » ou altimétrique. Cette donnée confère à certains ouvrages non retrouvés sur le terrain une incertitude de localisation plus faible dans la direction de la ligne de plus grande pente et une incertitude plus élevée dans la direction de la ligne de niveau correspondant à la cote connue de l'ouvrage.

L'incertitude prise pour chacun des ouvrages peut être consultée dans les tableaux relatifs aux ouvrages de l'annexe 2.

³ Cette marge n'inclue pas l'incertitude liée au support cartographique.

Concernant les désordres, lorsqu'il s'agit d'effondrement localisé, leur position a été levée au dGPS. Ces désordres apparaissent sur la carte informative sous forme de points. Tout comme les ouvrages débouchant en surface retrouvés, l'incertitude de localisation est donc de 2 m. Pour les effondrements (ou affaissements) de plus grande extension, leur cartographie, sous forme de polygones, a été réalisée sur le terrain puis consolidée sur la BD ORTHO® de l'IGN. L'incertitude de leurs limites est évaluée à 5 m.

11.2.2 Incertitudes de localisation des travaux miniers

Parmi les plans recensés, 45 ont été jugés pertinents pour être géoréférencés. L'incertitude globale des travaux digitalisés à partir de plans calés est principalement liée aux incertitudes intrinsèques et de géoréférencement des plans. Pour la digitalisation, le choix s'est porté sur les plans les plus complets et précis en terme de cartographie des travaux, à savoir les plans géoréférencés par le carroyage en Lambert III Sud. Les emprises de travaux souterrains digitalisées à partir de ces plans présentent des incertitudes variant de 5 à 10 m (cf. annexe 1). L'incertitude globale sur les travaux miniers a été retenue à 10 m.

11.2.2.1 Travaux avérés non digitalisés sur plans miniers

Certains plans anciens positionnent les travaux miniers par des symboles ponctuels. Ces positions correspondent aux entrées de galeries et l'extension de ces vieux travaux est généralement faible (quelques dizaines de mètres).

Des entrées de galeries ou des chambres, non répertoriées sur des plans d'archives ou parfois mentionnés dans les archives écrites, ont été retrouvées sur le terrain et levées au dGPS. Ces entrées correspondent à de vieux travaux dont l'extension est non connue précisément mais doit être probablement faible.

Dans ces deux cas, les travaux souterrains sont considérés comme « avérés » car observés sur le terrain. Leur extension n'étant pas connue, ils sont néanmoins répertoriés comme « Zones potentiellement affectées par les travaux miniers ». L'emprise de ces zones a été cartographiée sous forme d'enveloppes à partir d'un ouvrage ou à partir de l'affleurement. Dans la plupart des cas, l'extension de ces enveloppes a été estimée à 30 m à partir de l'ouvrage et/ou de la ligne d'affleurement.

11.2.2.2 Zones potentiellement affectées par des travaux miniers

Des zones potentiellement affectées par des travaux miniers souterrains ont aussi été cartographiées. Ces zones ont été repérées notamment à l'aide de certains documents anciens qui n'ont pas pu être géoréférencés (exemple : plans schématiques sans aucun élément permettant de les localiser). En plus, la nature des terrains (présence de bauxite), la proximité de travaux avérés et les observations sur site (désordres, grattages, dépôts et/ou plateformes) levées au dGPS ont permis de suspecter la présence de travaux, notamment dans les zones comprises entre l'affleurement (en amont pendage) et des travaux miniers avérés sur plan (en aval pendage). Ces zones ont été cartographiées sous forme d'enveloppes aux dimensions évaluées en fonction des différents éléments d'archives et de terrain.

L'emprise de ces zones englobe l'ensemble des incertitudes de localisation possibles. Aucune marge d'incertitude supplémentaire ne leur est attribuée.

11.2.3 Incertitudes sur les dépôts

Les dépôts relevés qui sont de faible ampleur (<500m³) apparaissent sur la carte informative sous forme de points, positionnés forfaitairement au centre des verses correspondantes, et levés au dGPS. A l'image des ouvrages, leur incertitude de localisation est de 3 m.

Pour les dépôts plus conséquents, leurs emprises ont été dessinées à partir de quelques levés dGPS effectués sur le terrain et consolidées sur la BD ORTHO® de l'IGN. Cette cartographie reste néanmoins approximative (il ne s'agit pas d'un levé précis au mètres près des contours). Ils sont représentés sous forme polygonale sans ajout d'incertitude.

11.2.4 Incertitude sur la localisation des exploitations à ciel ouvert

Les travaux à ciel ouvert ont été représentés sur la carte informative de manière polygonale (excavations) ou rectiligne (fronts de taille). Comme pour les dépôts ils ont été tracés sur la base de quelques levés dGPS et consolidés sur la BD ORTHO® de l'IGN. Aucune incertitude n'a été ajoutée aux emprises tracées.

11.2.5 Incertitude sur la localisation de l'affleurement de la bauxite

L'affleurement de la couche de bauxite est représentée sur la carte informative par une ligne en trait plein ou en pointillés suivant s'il a été observé sur le terrain ou déduit de l'observation de la BD-Ortho® ou repris de plans. Lorsqu'il a été observé, il a levé au dGPS. Dans ce cas son incertitude cartographique se limite à 5 m maximum. Dans le cas contraire, elle est retenue à 20 m.

11.3 Système d'information géographique

Les éléments reportés sur la carte informative sont disponibles sous la forme d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) sous MAPINFO® 8.5, au système de coordonnées LAMBERT 93, composé des couches cartographiques suivantes :

- la BD ORTHO® de l'IGN ;
- le SCAN 25® de l'IGN ;
- les limites des communes ;
- les limites des concessions ou des permis d'exploitation ;
- l'emprise des travaux miniers souterrains ;
- les travaux à ciel ouvert ;
- les ouvrages débouchant en surface (entrées de galerie, descenderies et puits) en précisant s'ils sont matérialisés ou localisés (cf. remarque ci-après) ;
- les désordres en surface, connus, actuellement visibles ou répertoriés dans les archives (zone affaissée, effondrements ouverts ou remblayés) ;
- les dépôts.

Remarque : les définitions des ouvrages débouchant au jour matérialisés et localisés sont issues de la circulaire ministérielle du 6 janvier 2012 (NOR : DEVP1134619C) relative à la prévention des risques miniers résiduels, à savoir :

- un ouvrage « matérialisé » : *ouvrage qui a effectivement été retrouvé en surface et dont les coordonnées ont pu être relevées au GPS ou dGPS ;*

- un ouvrage « localisé » : *ouvrage qui n'a pas été retrouvé sur le terrain mais dont les coordonnées sont connues (archives ou exploitant) et comportant une incertitude de positionnement.*

La nomenclature des objets cartographiques utilisée est :

- Pn pour les puits débouchant au jour ;
- Gn pour les galeries ou descenderies débouchant au jour ;
- Dn pour les désordres ;
- TCO_n pour les travaux à ciel ouvert ;
- Vn pour les zones de dépôt (verse) ;

n étant un numéro « compteur » arbitrairement choisi.

12 INSPECTIONS SOUTERRAINES

Des visites des travaux souterrains accessibles ont été réalisées en collaboration avec les spéléologues du CIRKA. Elles ont notamment permis de vérifier la qualité des plans (en particulier dans les zones cartographiées comme foudroyées), de dimensionner les travaux (section des galeries ou des chambres et piliers, ouverture des travaux) et d'évaluer l'état géotechnique des exploitations.

12.1 PEX de Rougiers

Il s'agit principalement de travaux de faible étendue, principalement à l'affleurement (cf. figure 26). Des galeries isolées (au total 4 galeries) ont été visitées. Deux secteurs présentant des vieux travaux « anarchiques » (disposition des piliers de façon aléatoire et utilisation de boisage) ont également pu être inspectés. Notons que l'accessibilité à ces travaux reste limitée, notamment du fait du niveau d'eau rapidement atteint.

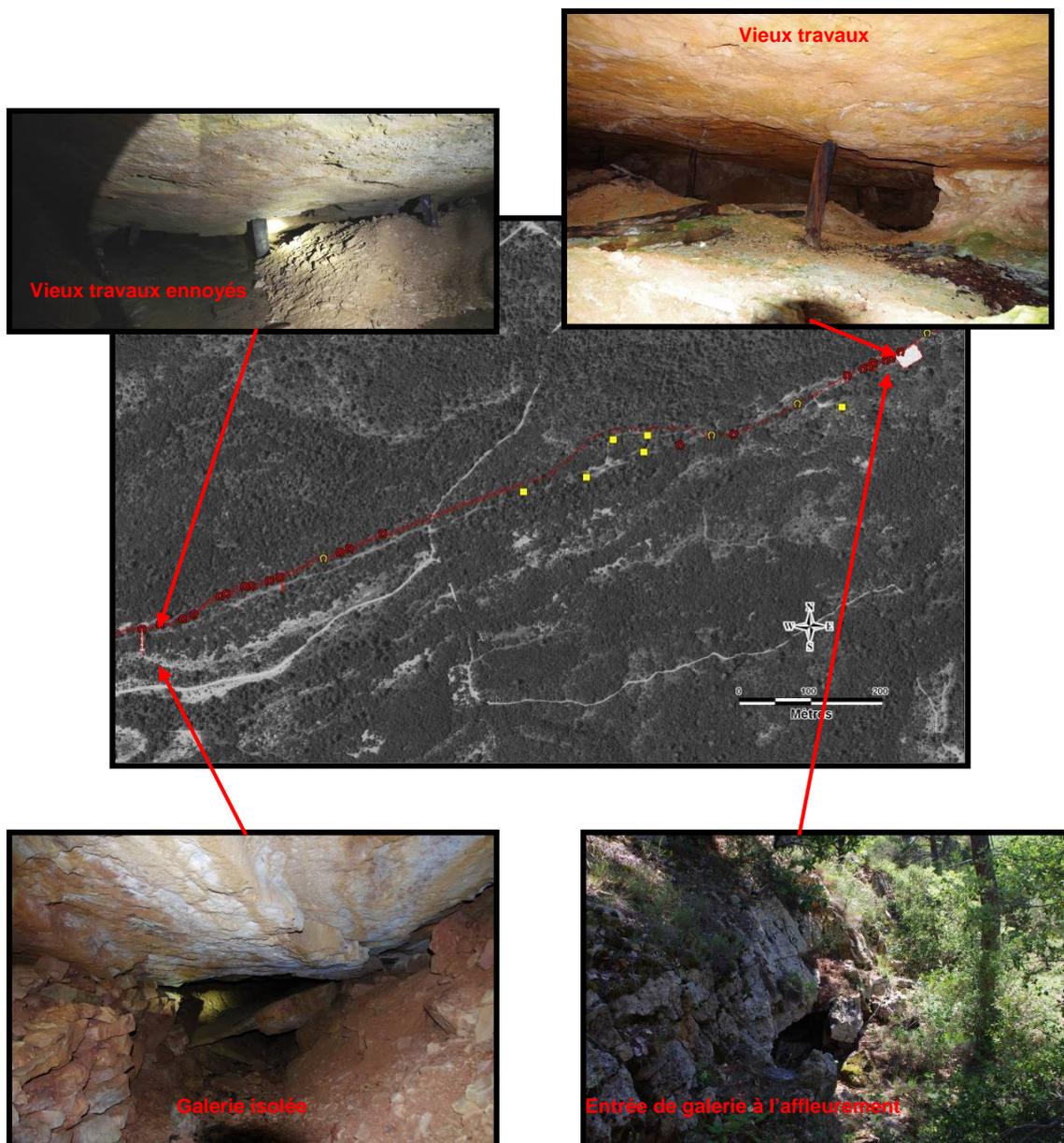


Figure 26 : Localisation des travaux visités sur le PEX de Rougiers

12.2 Concession de Tourves

La figure 33 ci-après montre les secteurs inspectés au fond. Celle-ci permet de constater que la plupart des travaux visités correspondent aux secteurs indiqués sur les plans comme « non dépilés » (secteur Tourves-B). Cependant, quelques travaux indiqués comme « dépilés » ont tout de même pu être localement inspectés (secteurs Tourves-C et Tourves-D). La totalité des travaux souterrains n'ayant pas pu être visités (faute de temps) nous ne pouvons pas exclure la présence de zones indiquées comme « dépilées » mais toujours accessibles. A noter qu'il a été constaté des disparités importantes sur les ouvertures, les taux de défrètement ainsi que sur l'état géotechnique global des ouvrages souterrains.

Enfin, cette concession ayant été exploitée depuis le XIX^{ème} siècle, d'importants vieux travaux à l'affleurement sont présents et non répertoriés sur les plans (secteur Tourves-A). Ces travaux sont en partie pénétrables.

12.2.1 Secteur Tourves-A : Vieux travaux à l'affleurement

Ces travaux sont très irréguliers voir anarchiques. Ils suivent la couche de bauxite au pendage avec une ouverture de l'ordre de 1,8 m à 2 m. Le boisage a été abondamment utilisé et certaines zones sont totalement dépourvues de piliers résiduels sur des surfaces parfois importantes. A noter toutefois que le toit apparaît localement en bon état. Aucun plan de ces secteurs n'a été retrouvé. Par conséquent, la limite des vieux travaux n'est pas exhaustive. D'autre part, nous avons souvent observé la présence d'eau (niveau de la nappe) au fond de ces travaux. Il semble donc que la présence de la nappe était un facteur rédhibitoire à la poursuite de l'exploitation. Enfin, de nombreux désordres de type fontis ont été observés en surface. Ils sont localisés à proximité de l'affleurement.

12.2.2 Secteur Tourves-B : Travaux en chambres et piliers abandonnés

En premier lieu, la visite de ces travaux a permis de constater que les plans sont globalement fiables. D'importants piliers en bon état sont en place. En second lieu, bien que ces secteurs apparaissent en bon état, nous avons tout de même pu observer une montée de voûte importante au sein de ces travaux (d'une vingtaine de mètres de diamètre). En effet, le « faux-toit » (cf. figure 27) décrit dans les procès-verbaux de visite, très riche en matière organique, est friable et celui-ci se délite facilement en plaquette. Ainsi la montée de voûte observée remonte d'une dizaine de mètres au-dessus de la bauxite.

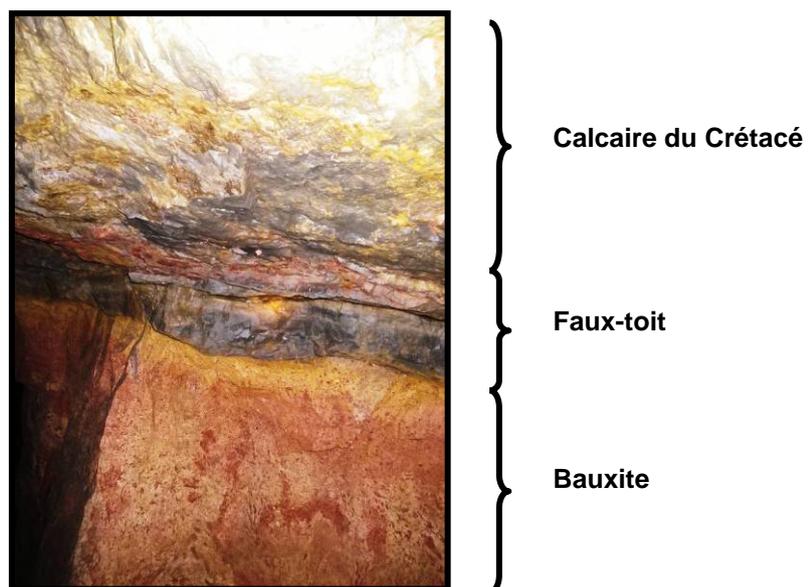


Figure 27 : Le faux-toit observé au droit d'un pilier

Dans ces secteurs exploités en chambres et piliers, on observe d'ailleurs régulièrement des boulons au toit des chambres.

L'extrait du plan ci-après illustre l'organisation des travaux (cf. figure 28). Les piliers ont des sections de 5 m environ et sont séparés d'une distance de 5 m environ.

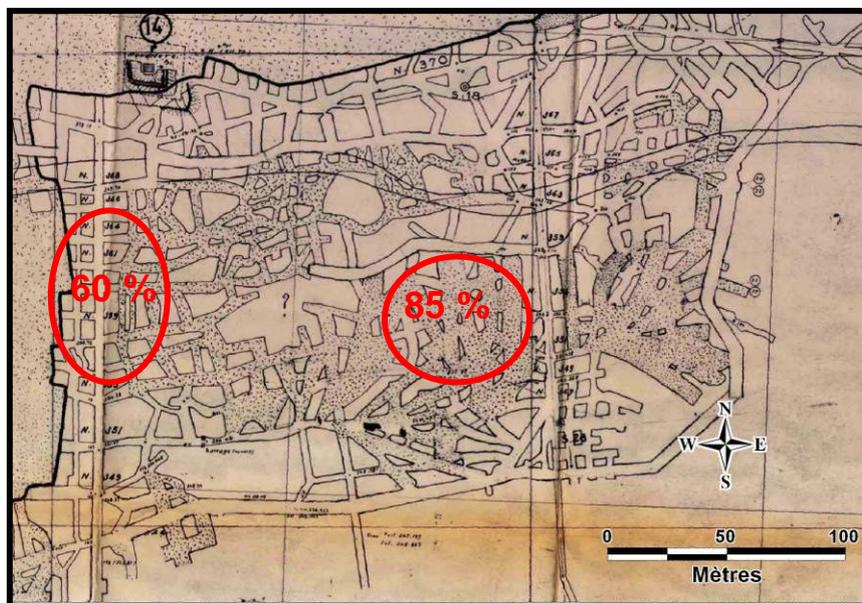


Figure 28 : Extrait du plan de Tourves secteur « Tourves-B » avec les taux de défrètement

12.2.3 Secteur Tourves-C : Travaux « dépilés »

Un secteur noté sur les plans comme « dépilé » (méthode de foudroyage par dépilage, cf. § 7.3) a été inspecté lors de notre visite⁴. Nous avons constaté qu'une partie des travaux n'était pas effondrée (cf. figure 29). En effet, les piliers résiduels en place ont été dégraissés jusqu'à atteindre des sections de l'ordre du mètre carré pour une hauteur de 2,50 m environ sans s'être effondrés.

Par conséquent, les derniers plans d'exploitation illustrant ce type de secteurs comme totalement exploité (secteurs cartographiés sur les plans avec une trame de petits points et le plus souvent noté « dépilé ») peuvent présenter localement des zones en place conservant des piliers de forme et de section variables mais le plus souvent réduites. A l'image de ce qui a été observé sur le secteur Tourves-C ainsi que dans le cas suivant du secteur Tourves-D, nous ne pouvons exclure la présence de vides semblables au sein des zones notées « dépilé » sur plans.

⁴ L'ensemble des secteurs dépilés n'a pas été inspecté afin de vérifier l'état réel des travaux.

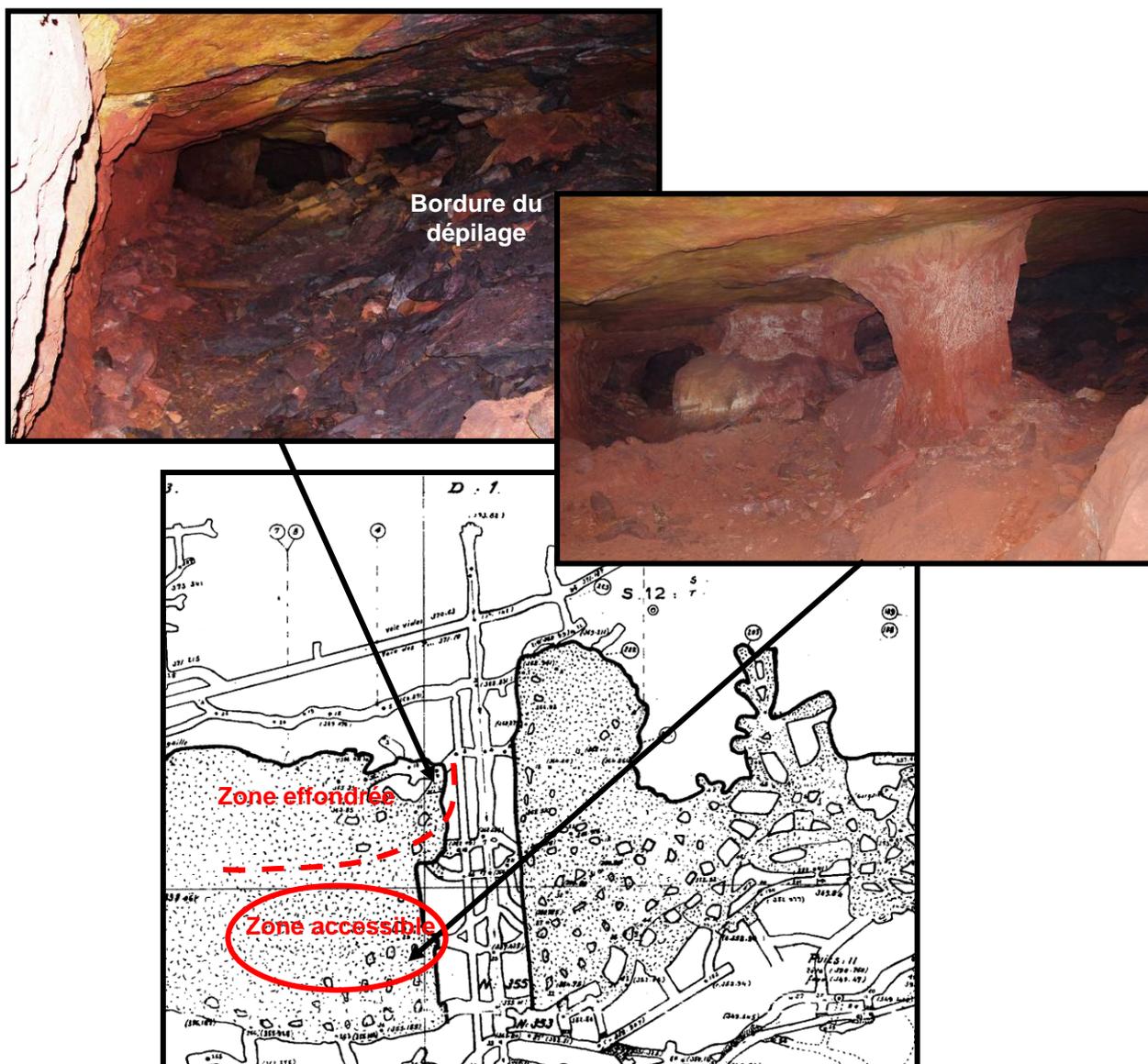


Figure 29 : Extrait du plan de Tourves secteur « Tourves-C »

12.2.4 Secteur Tourves-D : Cas particulier des travaux de la Baume Nord

Le dernier plan d'exploitation du secteur de la Baume Nord (plan présent dans le DADT) indique ce secteur comme étant « dépilé » (cf. figure 30). Lors de notre visite en commun avec les spéléologues, nous avons constaté que les piliers sont d'une part, toujours en place et que l'ouverture est de surcroît très importante (de 5 à 7 m) comme illustré par les anciens plans d'exploitation (cf. figure 31).

Dans ce secteur, il a été observé que la section des piliers est variable et réduite (de l'ordre de 2,50 m). Ces piliers sont localement très fracturés. Enfin, l'état général du toit est dégradé (présence de montées de voûte importantes, cf. figure 32).

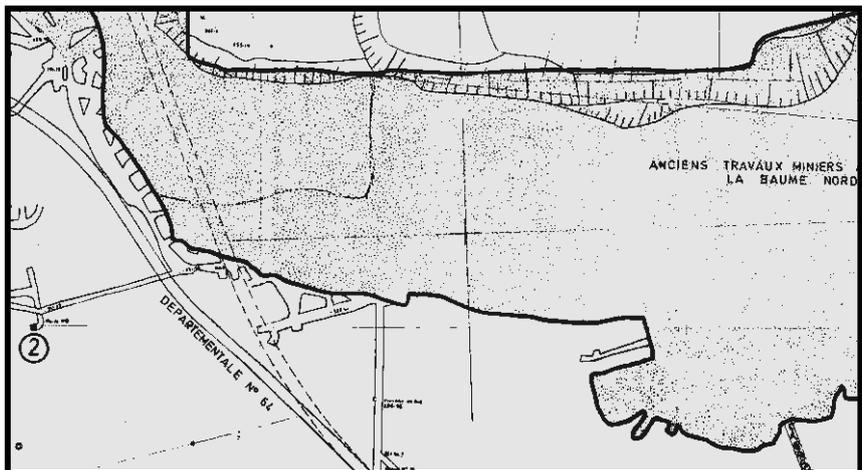


Figure 30 : Plan du DADT, secteur de la Baume Nord

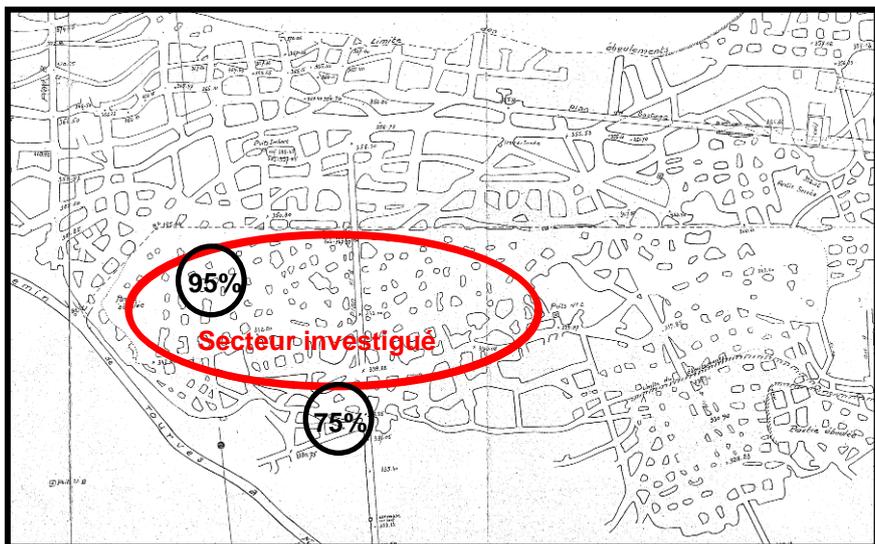


Figure 31 : Plan d'exploitation 1941 avec taux de défrètement, secteur de la Baume Nord

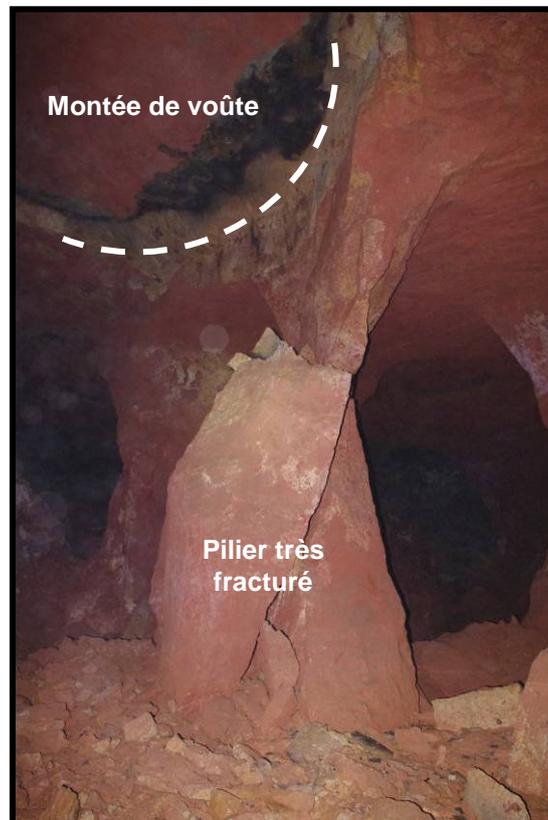


Figure 32 : Vue d'un pilier très fracturé dans le secteur Tourves-D. Fracture caractéristique d'une rupture en compression simple

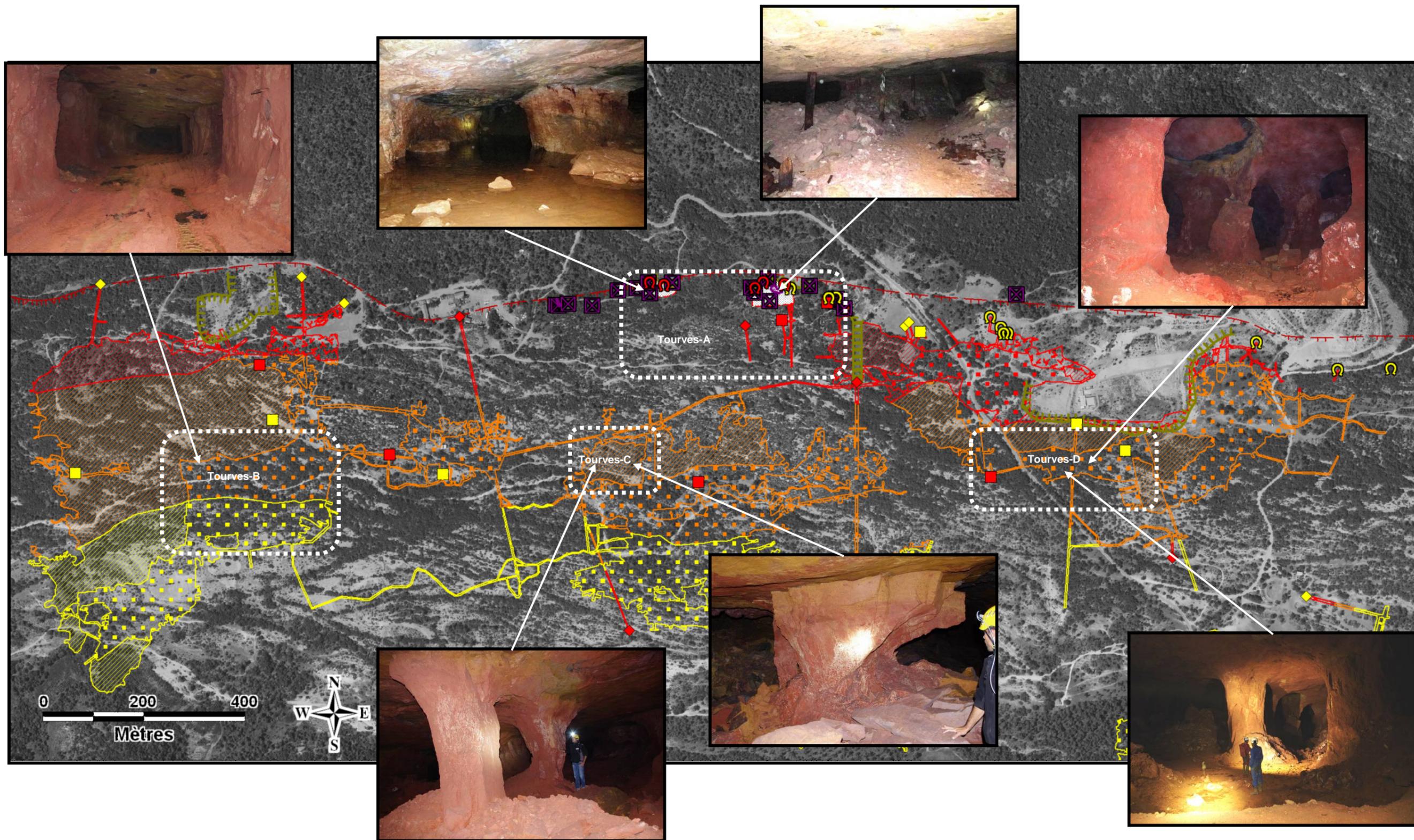


Figure 33 : Localisation des travaux visités sur la concession de Tourves

12.3 PEX de Mazaugues

Le permis d'exploitation de Mazaugues a donné lieu à l'exploitation la plus importante du bassin.

Les visites effectuées montrent, qu'à l'instar de Tourves, les quartiers indiqués comme exploités en chambres et piliers abandonnés sont toujours en place. Cependant, il s'avère que localement, des zones indiquées comme « *dépilé* » sur les plans sont toujours accessibles (mais en mauvais état). Notons qu'au droit des travaux dits « *dépilé* » d'importants effondrements ont eu lieu témoignant du bon foudroyage. Cependant, ces effondrements ne couvrent que très peu (environ 5 %) de la zone dépilée, il est donc probable que des secteurs ne soient pas effondrés au droit de ces travaux (c'est d'ailleurs par un effondrement D30 qu'il est possible d'accéder aux travaux souterrains des secteurs de Mazaugues B, cf. § 12.3.2).

Dans le quartier dit de « la Caire », des galeries permettent toujours l'accès aux vieux travaux de Mazaugues (il s'agit des premiers travaux réalisés sur ce PEX). Ces travaux partent de l'affleurement et suivent au pendage la couche de bauxite. De même que l'ensemble des vieux travaux visités, ceux-ci ont été exploités en chambres et piliers abandonnés avec des dimensions très variables.

Notons que nous avons observé des disparités importantes sur les taux de défrusement ainsi que sur l'état géotechnique global des ouvrages souterrains.

12.3.1 Secteur Mazaugues-A : Vieux travaux à l'affleurement

De même que pour les vieux travaux de la concession de Tourves, ces travaux sont très irréguliers voir anarchiques (cf. figure 34). Ils suivent la couche de bauxite au pendage avec une ouverture de l'ordre de 1,5 m à 3 m. Le boisage a été abondamment utilisé et certaines zones sont totalement dépourvues de piliers résiduels sur des surfaces parfois importantes. Plusieurs plans ont été retrouvés concernant le secteur de la Caire. Ils démontrent bien le schéma anarchique d'exploitation (cf. figure 35).

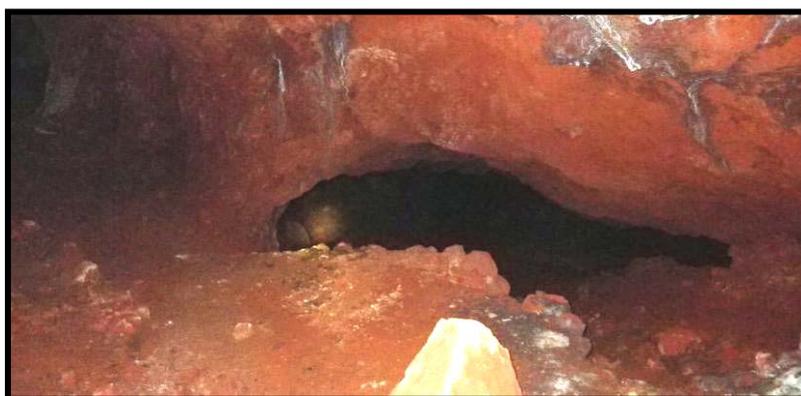


Figure 34 : Aperçu des vieux travaux de la Caire

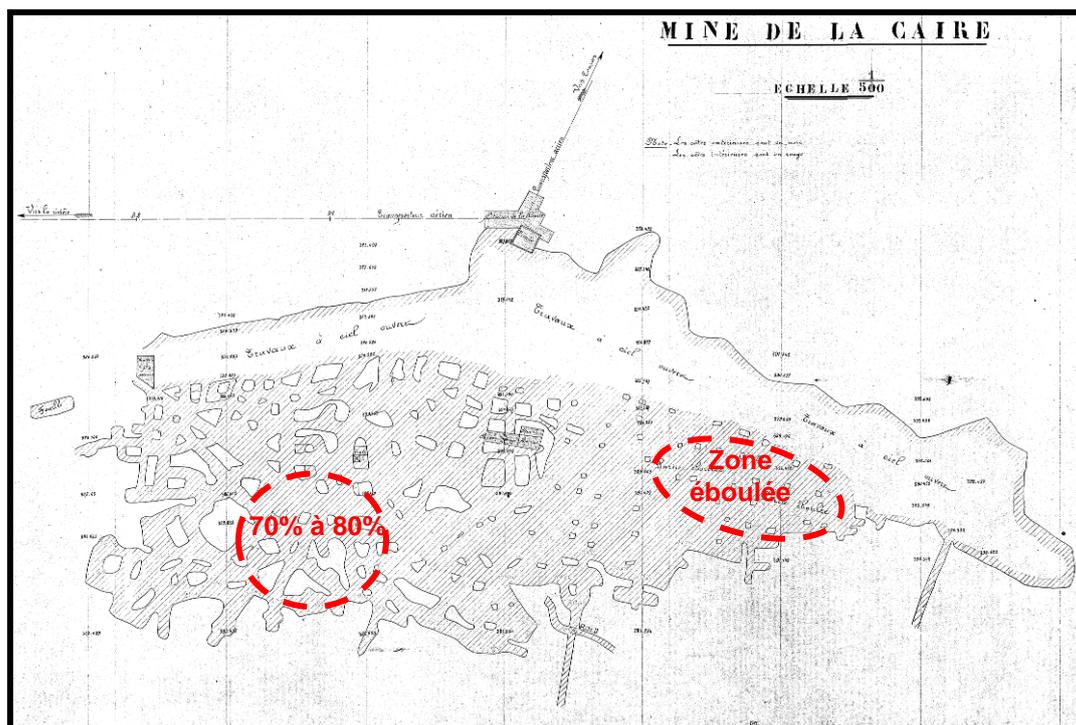


Figure 35 : Plan des travaux de la Caire en 1922

Dans les parties basses des travaux, le niveau d'eau a été observé. Il semble également qu'il ait été le facteur limitant à l'extension des vieux travaux vers l'aval pendage.

Plusieurs désordres de type fontis ont été observés au droit des vieux travaux. Certains sont relativement importants (notamment le désordre D24 de 50x20 m).

Le secteur de la Caire n'est certainement pas le seul à avoir été exploité de cette façon. Nous pouvons notamment recenser les vieux travaux de Vautruite à l'est mais il est fort probable que d'autres vieux travaux existent à proximité de l'affleurement.

12.3.2 Secteur Mazaugues-B : Stot des descenderies des Fouilles

Quatre descenderies desservait le quartier dit des « *Fouilles Ouest* ». Il s'agissait du dernier siège d'exploitation de Mazaugues Amont. Un stot permettait de protéger les descenderies d'accès aux travaux. Cette zone est toujours ouverte et accessible notamment par l'effondrement D30 au droit des travaux dépilés à l'est.

La visite a permis de constater que le toit ainsi que les piliers sont globalement sains et peu dégradés. Nous avons néanmoins noté la présence de piliers ruinés mais isolés (cf. figure 36). Dans ces travaux, le boulonnage au toit et sur les piliers a été utilisé de façon abondante. Par ailleurs, de nombreux karsts au toit et au mur sont visibles au sein de ces travaux. L'ouverture moyenne est ici de 3 à 4 m et l'espacement entre les piliers de 4 à 5 m.

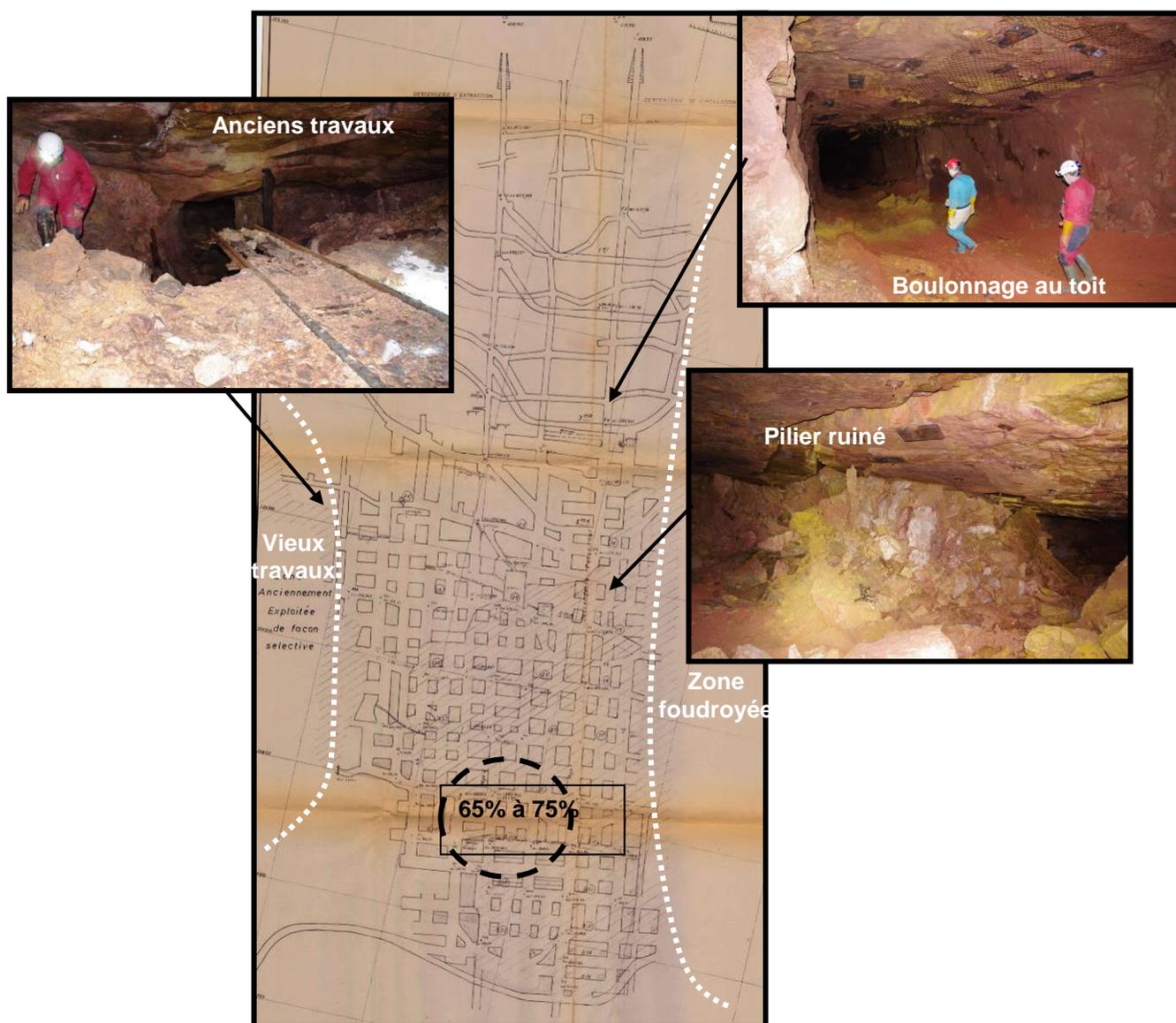


Figure 36 : Plan de 1984 du quartier des Fouilles ouest, secteur Mazaugues-B

12.3.3 Secteur Mazaugues-C : Travaux dépilés

A Mazaugues Amont, les lentilles de bauxite ont toutes été exploitées par dépilage. Toutefois, après avoir visité les travaux souterrains, il s'avère que certaines zones notées « dépilé » sur les plans ne sont pas toujours effondrées. Nous avons notamment inspecté avec les spéléologues une zone dépilée au 9^{ème} niveau du quartier dit des « 3 Pins ». On constate que les travaux dépilés sont finalement accessibles localement mais en très mauvais état (cf. figure 37). D'après les spéléologues, il est possible de remonter entièrement cette lentille et il en est de même concernant la lentille de la Caire. Cette affirmation montre que l'ensemble des travaux dits « dépilés » sur les plans n'est pas entièrement effondré. La hauteur moyenne des vides résiduels est de 1,8 à 2 m.

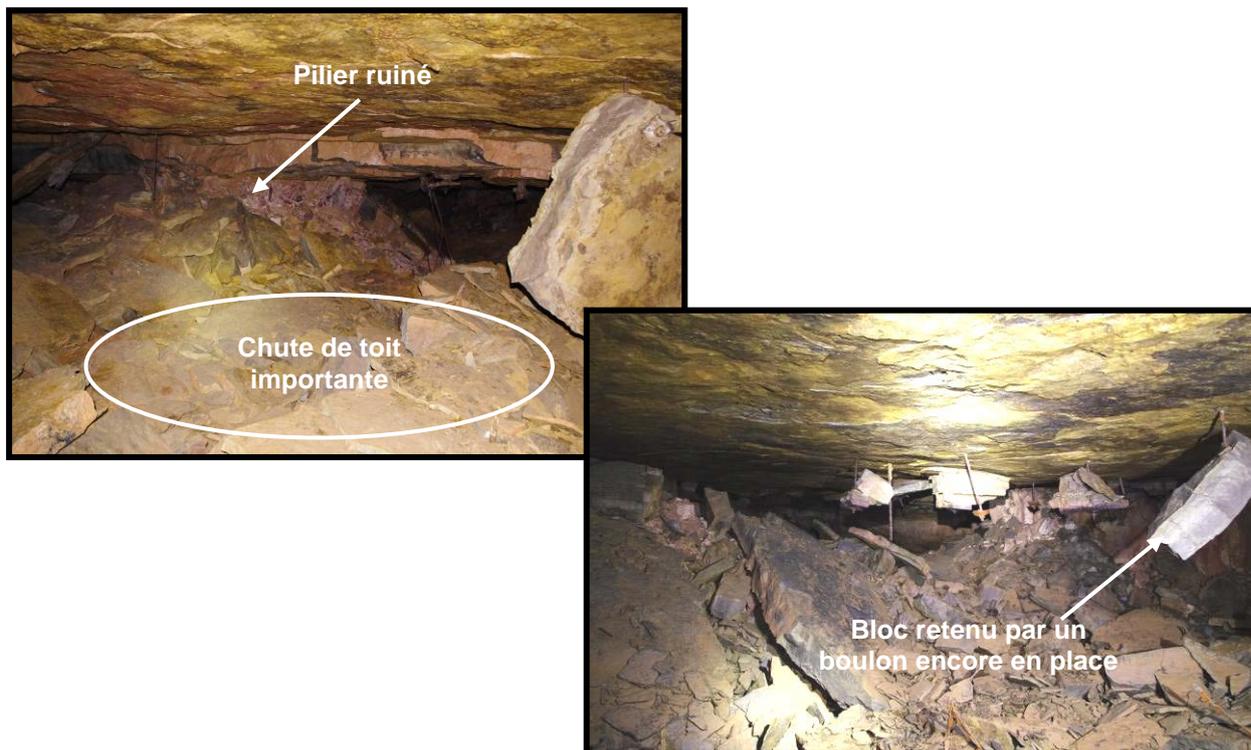


Figure 37 : Secteur « dépilé » sur les plans, secteur Mazaugues-C

12.3.4 Secteurs Mazaugues-D : Cas particulier d'un secteur dépilé

Dans le quartier des « 3 Pins », un secteur en particulier a été dépilé et effondré. Il reste néanmoins accessible. En effet, l'effondrement du bas toit lié au dépilage des chambres a bien eu lieu mais le vide anciennement présent s'est répercuté sur les bancs sus-jacents non éboulés (cf. figure 38). Le toit a été suffisamment résistant pour ne pas rompre. La hauteur du vide observé est plus faible qu'initialement dans la chambre, il est de l'ordre de 1,8 à 2 m. Des départs de montées de voûte et la fracturation du toit traduisent sa dégradation en cours (cf. figure 39).

L'emprise du vide observé est de l'ordre 300 m² environ. Il est à noter qu'il s'agit probablement là d'un cas particulier observé mais qu'il n'est pas exclu que d'autres secteurs similaires soient présents au sein des travaux notés comme « dépilés » sur les plans.

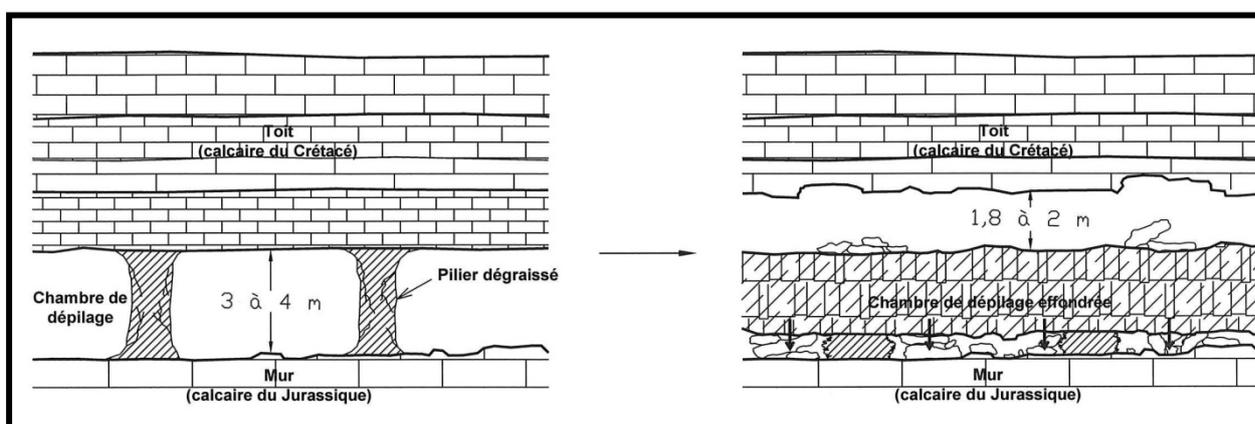


Figure 38 : Représentation schématique du vide répercuté sur les bancs sus-jacents



Figure 39 : Vue du vide répercuté au-dessus de la chambre de dépilage

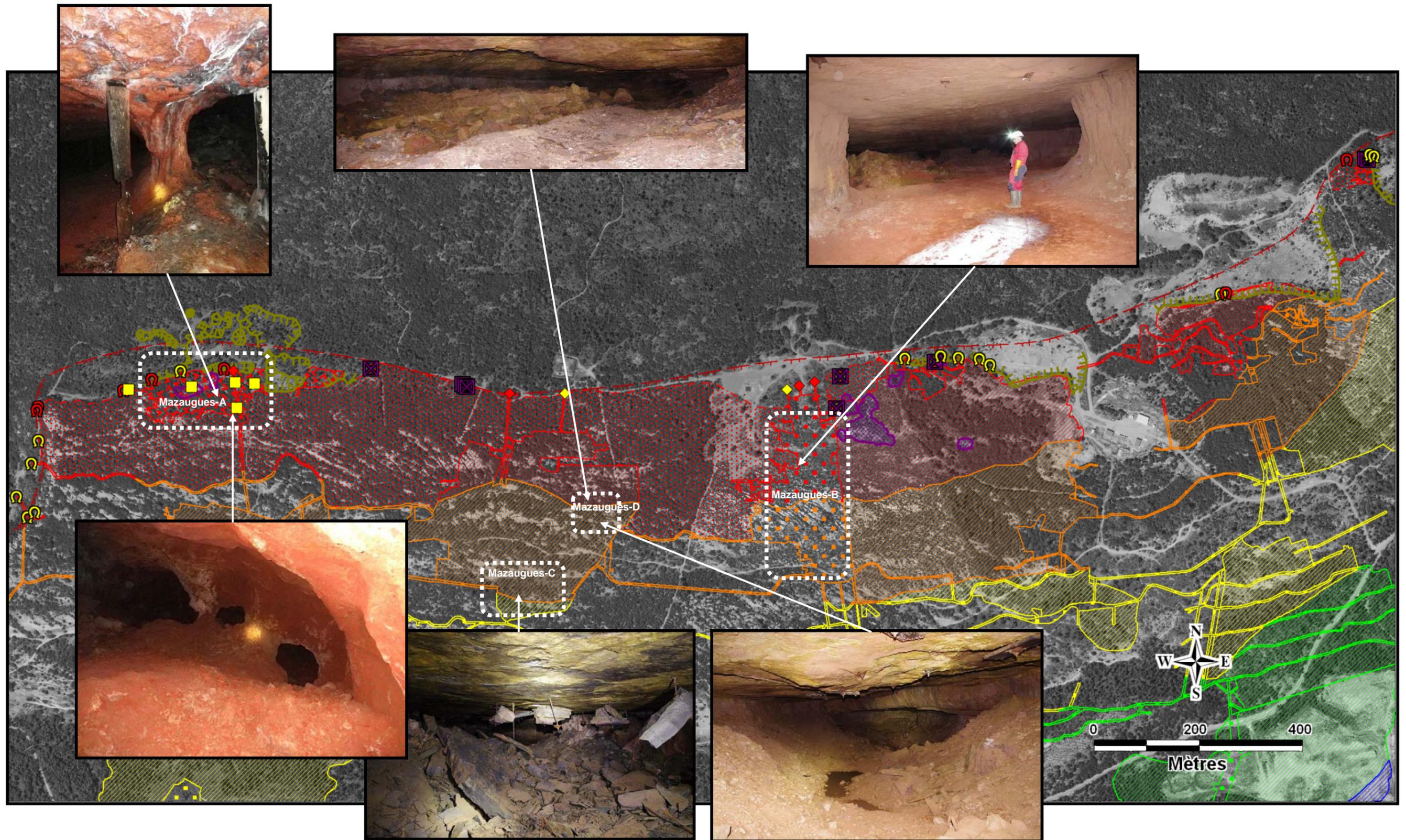


Figure 40 : Localisation des travaux visités sur le PEX de Mazaugues

12.4 Concession de Saint-Julien

Les travaux miniers souterrains de la concession de Saint-Julien sont relativement importants. Toutefois, l'ensemble des ouvrages au jour a été fermé. Il n'a pas été possible d'accéder aux travaux souterrains. Seules quelques galeries filantes à l'affleurement (poudrière notamment) rapidement effondrées ou murées ont été visitées (cf. figure 41).

Néanmoins, d'après les spéléologues, il serait possible d'accéder aux travaux souterrains de Saint-Julien.



Figure 41 : Localisation des travaux visités sur la concession de Saint-Julien

12.5 PEX D'engardin

Le pendage de la couche de bauxite sur le PEX d'Engardin est bien plus prononcé que les exploitations citées précédemment. A l'époque, l'accès aux travaux se faisait via le grand travers-banc situé à 1,5 km au nord des travaux. Celui-ci a été fermé à la fin de l'exploitation et il n'est donc plus possible d'accéder aux travaux souterrains. Par ailleurs, les têtes de chantiers débouchant au jour à l'affleurement ont été remblayées au terme de l'exploitation.

Toutefois plusieurs coulissage de remblais au droit de ces têtes de chantiers ont été observés. Avec le pendage important, le remblai déversé dans les travaux a coulé sur plusieurs mètres dans les niveaux inférieurs laissant entrevoir les premiers piliers (cf. figure 42). Enfin, quelques galeries d'aérage recoupaient les travaux. Celles-ci sont pour la plupart remblayées en tête, pourtant, il a été possible d'accéder à l'une d'entre elles. Nous avons alors directement observé le remblai déversé dans les travaux (cf. figure 42).

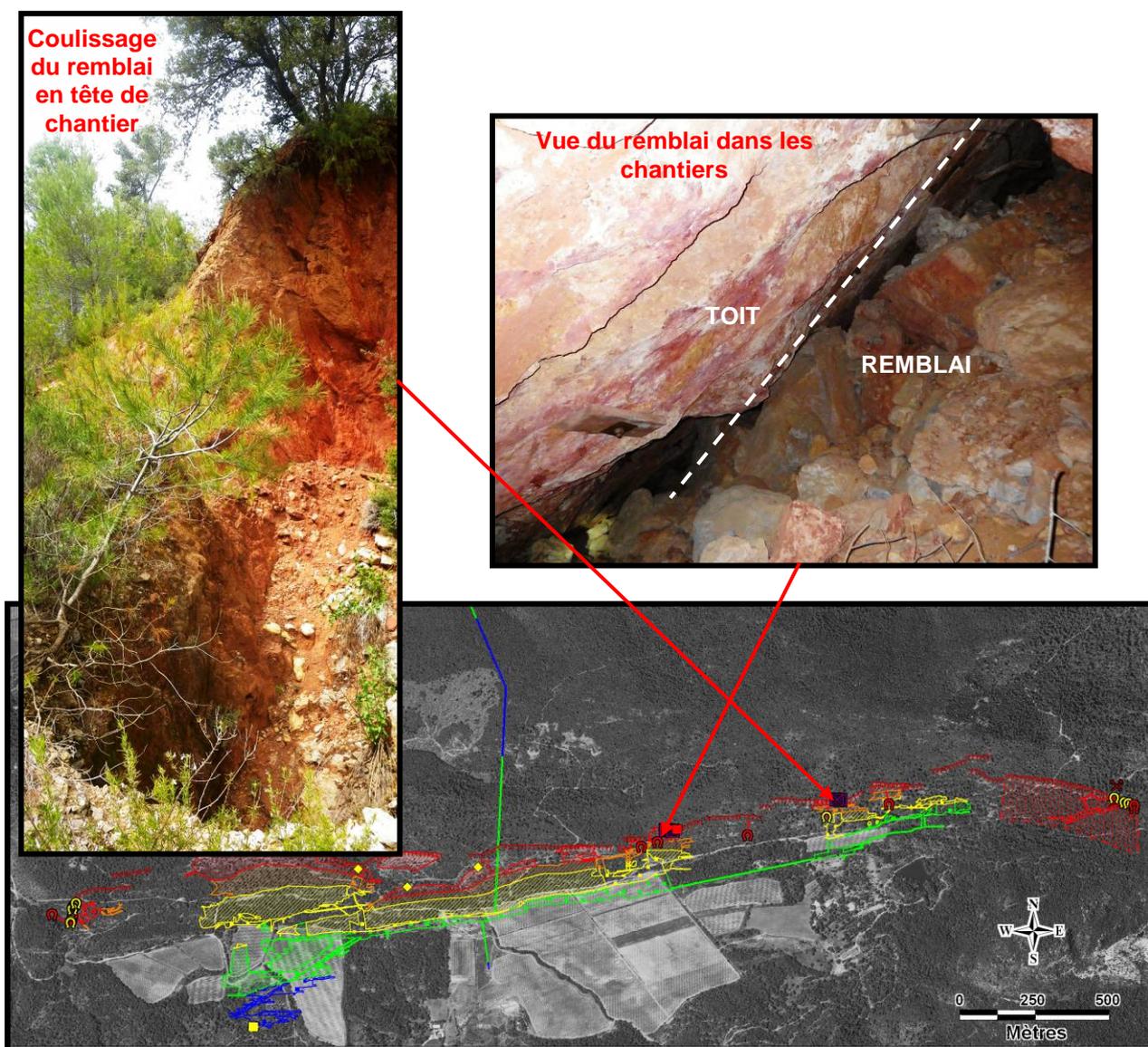


Figure 42 : Localisation des travaux visités sur le PEX d'Engardin

12.6 PEX des Pourraques et de Merlançon

Sur ces deux PEX (cf. figures 43 et 44), très peu d'ouvrages permettent encore d'accéder aux travaux miniers souterrains.

En effet, la plupart des ouvrages sont soit éboulés, soit traités (avec une dalle en béton). Par conséquent, il n'a été possible de visiter que quelques galeries/descenderies jusqu'à rencontrer un éboulement ou le niveau d'eau.

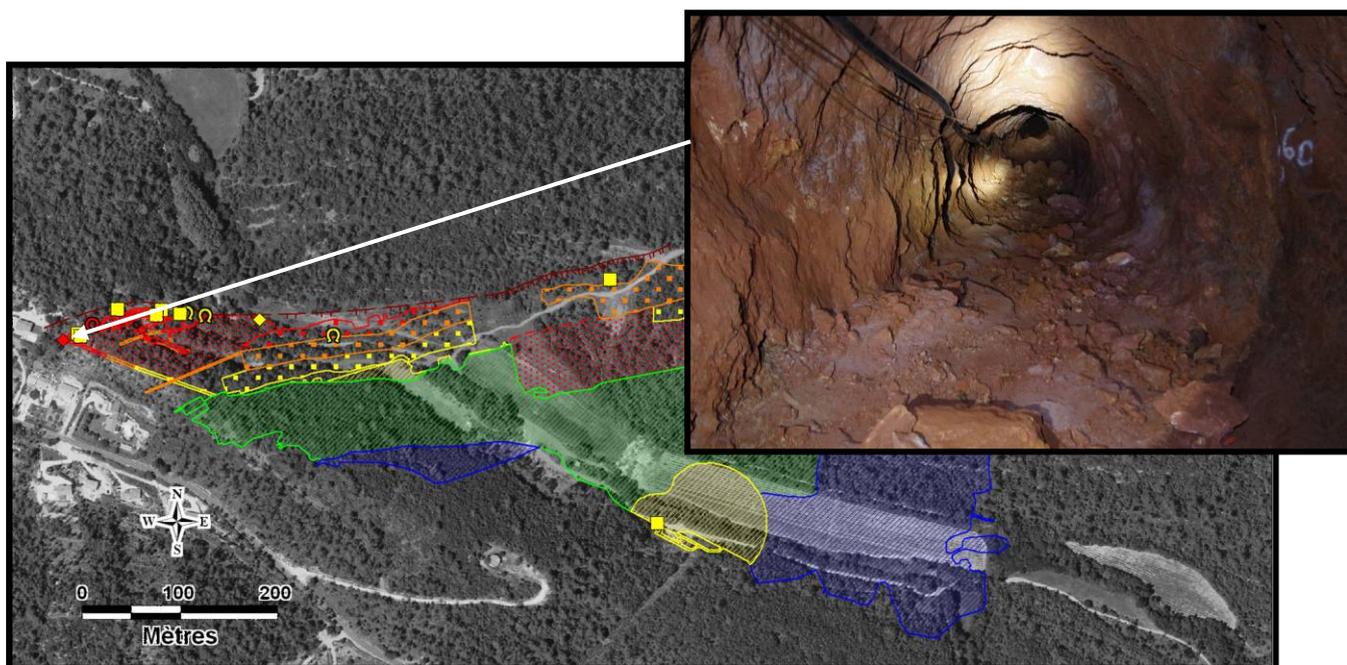


Figure 43 : Localisation des travaux visités sur le PEX des Pourraques

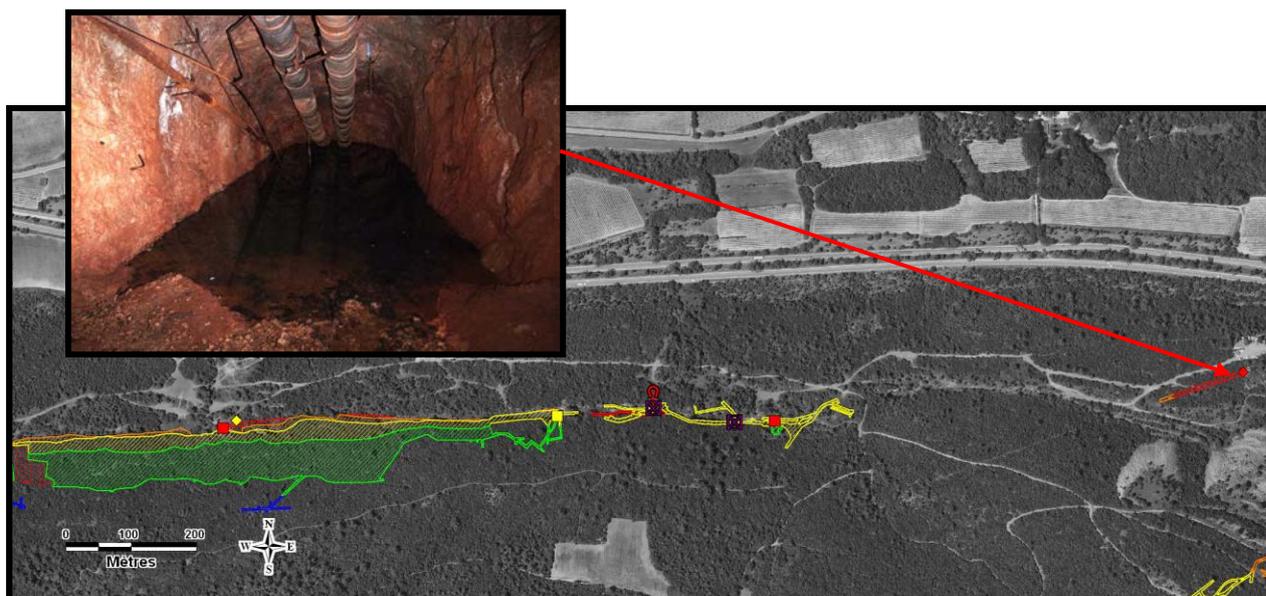


Figure 44 : Localisation des travaux visités sur le PEX de Merlançon

12.7 Synthèse des secteurs visités

Le tableau suivant synthétise par titre minier et secteurs visités, les caractéristiques des travaux miniers observés en souterrain.

Titre	Secteur	Type travaux	Taux défrètement	Ouverture (m)	Désordres observés au fond	État géotechnique global
Rougiers (PEX)		Vieux travaux à l'affleurement : irréguliers	Non calculé ⁵	1,5 à 2	Pas de désordre observé	Toit en bon état (boisage présent)
Tourves (concession)	A	Vieux travaux à l'affleurement : irréguliers	Non calculé	1,8 à 2	Fontis à proximité de l'affleurement	Toit et piliers en bon état
	B	Travaux en chambres et piliers abandonnés	60% à 85%	2,5 à 4	Montée de voûte visible au fond	Piliers en bon état (boulonnage présent)
	C	Travaux dépilés sur plans mais localement accessibles	90% à 95%	2,5 à 3,5	Pas de désordre observé	Piliers en bon état mais dimension très réduite
	D	Travaux dépilés sur plans mais localement accessibles et secteur en chambres et piliers abandonnés	90% à 95% (zone nord) 70% à 75% (zone sud)	5 à 7	Montée de voûte visible au fond et piliers largement fracturé	Piliers et toit en mauvais état
Mazaugues (PEX)	A	Vieux travaux à l'affleurement irréguliers	70% à 80%	1,5 à 3	Fontis à proximité de l'affleurement	Toit et piliers en bon état
	B	Chambres et piliers abandonnés « réguliers »	65% à 75%	3 à 4	Pilier ruiné au fond	Toit et piliers en bon état général
	C	Travaux dépilés sur plans mais localement accessibles	Non calculé	1,8 à 2	Pilier et toit ruiné au fond	Toit et piliers en mauvais état
	D	Cas particulier de travaux dépilés	Sans objet	1,8 à 2	Une montée de voûte observée au fond	Toit raide mais en mauvais état
Saint-Julien (concession)		Poudrière (galerie G139)	Sans objet	2	Quelques chutes de blocs	Toit fracturé

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des secteurs visités en souterrain

⁵ Aucun taux de défrètement n'a pu être calculé car aucun plan de ces secteurs n'a pu être retrouvé et la disparité des piliers abandonnés nous empêche d'estimer ce taux.

PHASE D'ÉVALUATION DES ALÉAS

13 LISTE DES PHENOMENES

L'étude détaillée des aléas est réalisée selon le guide méthodologique (cf. [16]) validé par l'administration et est conforme aux textes réglementaires qui précisent notamment la nature des aléas et risques pris en compte :

Les risques pris en compte (...) sont notamment, les suivants: affaissements, effondrements, fontis, inondations, émanations de gaz dangereux, pollutions des sols ou des eaux, émissions de rayonnements ionisants.

On notera que la mention, dans la réglementation, de l'adverbe « notamment » implique que la liste, quoique largement représentative des risques miniers, n'est pas strictement exhaustive et peut éventuellement être complétée.

14 IDENTIFICATION DES ALEAS RETENUS ET ECARTES

Les informations rassemblées lors de la phase informative nous permettent d'identifier les différents aléas qui seront à retenir pour la deuxième phase de l'étude (analyse détaillée des aléas). D'après les connaissances acquises et la rétroanalyse effectuée sur d'autres bassins miniers très similaires, les scénarii accidentels ont été examinés pour en déterminer les intensités potentielles, les crédibilités de survenance et évaluer, ainsi, les niveaux d'aléas qui leur incombent.

14.1 Aléas écartés

Compte tenu des configurations des exploitations du bassin de bauxite de Mazaugues, seuls des phénomènes autres que mouvements de terrain ont pu être écartés. Il s'agit des phénomènes d'inondation et d'échauffement.

14.1.1 L'inondation

Les éléments décrits au paragraphe relatif à l'hydrogéologie permettent de conclure à la stabilité des eaux suite à l'ennoyage partiel des travaux. De plus, sur les sites, les ouvrages débouchant au jour servant à l'exhaure draineraient les écoulements souterrains en cas de remontée du niveau de nappe.

L'aléa inondation est donc écarté sur l'ensemble des sites étudiés. Toutefois, des résurgences temporaires sont susceptibles d'apparaître à la sortie des galeries constituant des drains privilégiés en période de forte pluviométrie. En effet, les visites en souterrain ont notamment mis en évidence sur le PEX de Mazaugues, où les eaux sont drainées par la galerie G109, des battements de nappe pouvant atteindre 20 m. Des figures de ravinements profonds observés à la sole des descenderies témoignent de l'apport ponctuel et très important d'eau certainement durant les épisodes de type « Cévenol ». Ainsi, ces battements semblent ponctuels liés à l'apport brutal et massif d'eau dans les travaux miniers que le seul exutoire représenté par la galerie G109 ne permet pas de vidanger en temps réel. Il pourrait en être de même au niveau de la galerie d'exhaure de la Baume Nord (+ 325 m NGF, G106) qui draine les travaux de la concession de Tourves même si aucun écoulement n'a été observé lors de visites.

14.1.2 L'échauffement

Lors de l'exploitation de la mine de Mazaugues aval (PEX de Mazaugues), au moins un incendie s'est déclaré suite à la mise en air et l'échauffement d'une couche de lignite intercalée dans le toit calcaire (cf. § 10.6).

En l'absence de travaux d'exploitation, un tel phénomène ne peut plus se produire de manière spontanée. L'aléa échauffement est donc écarté sur le secteur d'étude.

En revanche, ce phénomène est à garder en mémoire en cas de mise en lumière, par décapage de surface, d'une couche de lignite superficielle intercalée dans les calcaires.

14.2 Aléas non évalués

14.2.1 Pollution des eaux et sols

L'exploitation de gisement métallique dont celui de la bauxite peut faire redouter la présence éventuelle d'éléments indésirables tels des métaux dans les eaux et les sols à proximité immédiate des ouvrages miniers et des dépôts observés et/ou recensés.

La hiérarchisation nationale, réalisée dans le cadre de la Directive sur les Déchets de l'Industrie Extractive (DDIE, cf. [3]), a classé l'ensemble du bassin comme « *susceptible de présenter un risque pour l'environnement sans pour autant constituer un risque grave identifié compte tenu des données disponibles* ».

Dans ce cas, ce classement conclue à la nécessité de réaliser « *une étude d'orientation non prioritaire pour apprécier le niveau de risque éventuel et un établir un reclassement* ».

14.2.2 Emission rayonnements ionisants

L'aléa lié aux **émissions de rayonnements ionisants** n'a pas été évalué mais est à garder en mémoire en particulier dans les mines polymétalliques même si ici l'encaissant est calcaire. On notera que cet aléa n'est pas spécifiquement minier compte tenu des substances exploitées (pas d'exploitation de minerai d'uranium). Le cadre de la prise en compte de cet aléa n'est pas encore défini.

14.2.3 Gaz de mine

Les archives consultées ne mentionnent pas de problème de gaz de mine lors des exploitations. Les visites réalisés dans les travaux non ennoyés n'ont pas révélé de présence de gaz.

L'aléa « gaz de mine » n'est donc *a priori* pas pertinent sur les exploitations des sites étudiés. Néanmoins, la présence localement de bancs de lignite dans le toit (substance potentiellement productrice de méthane) et celle de vides résiduels non ventilés (concentration possible en air désoxygéné) ne permettent pas, en première approche, d'écarter totalement cet aléa.

Néanmoins, un manque de retour d'expérience sur les anciennes exploitations minières a amené GEODERIS à engager une réflexion sur le sujet. Ainsi, l'évaluation de l'aléa « gaz de mine » n'a pas été réalisée.

14.3 Aléas retenus

14.3.1 L'affaissement

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

Les exploitations concernées par les affaissements possèdent généralement quatre points communs : exploitation dite « partielle » en plateure à faiblement pentée où des vides sur des superficies importantes ont été maintenus, grande profondeur (valeur dépendant du contexte mais en général une centaine de mètres au moins), extensions horizontales importantes (ratio largeur exploitée / profondeur) et recouvrement capable de se déformer de manière « souple » sur des amplitudes importantes.

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

Sur le secteur étudié, les archives font état d'affaissements de surface dans le cadre des opérations de foudroyages sur la concession de Tourves et du PEX de Mazaugues . Les visites en souterrain et les plans d'exploitations montrent sur ces concessions ainsi que sur celle de Saint-Julien la présence de sites d'exploitations partielles par chambres et piliers abandonnés pour lesquels l'aléa affaissement est à envisager.

En revanche, les exploitations des PEX d'Engardin, de Les Pourraques et de Merlançon menées par foudroyage ne sont pas concernées par ce phénomène. Pour les quelques zones en chambres et piliers restantes, le pendage important des exploitations (45° à 70° pour Engardin et 45° à 50° pour Les Pourraques et Merlançon) permet également d'y exclure ce phénomène. L'exploitation du PEX de Rougiers se compose, quant à elle, de quelques vieux travaux peu profonds (15 m de profondeur), très irréguliers, avec un toit fracturé, composés d'une succession de chambres et piliers de faible étendue dont la ruine conduira au phénomène d'effondrement localisé mais non d'affaissement.

Ces différents arguments permettent d'exclure, au vu des connaissances actuelles, le scénario d' « affaissement » sur les exploitations des PEX de Rougiers, Engardin, Les Pourraques et Merlançon. En revanche, une analyse plus fine du phénomène semble pertinente pour les concessions de Tourves, Saint-Julien et le PEX de Mazaugues.

14.3.2 L'effondrement généralisé

Un effondrement généralisé, également appelé effondrement en masse, se manifeste par la rupture, souvent dynamique, de tout ou partie d'une exploitation affectant ainsi la stabilité des terrains sur des surfaces importantes. Il se traduit par l'apparition d'un effondrement d'assez grande dimension aux bords fracturés, sub-verticaux, délimitant des « marches d'escaliers ».

Pour ce faire, les conditions suivantes sont généralement requises :

- existence d'exploitation partielle au taux de défrètement élevé, de volumes de vides importants et la présence de configurations d'exploitation sensibles (piliers sous-dimensionnés, présentant un fort élancement ou exploitation multi-niveaux avec mauvaise superposition des piliers)
- schéma d'exploitation homogène et uniforme ;
- recouvrement présentant un (ou des) horizon(s) raide(s), capable(s) de reprendre tout ou partie du poids des terrains de surface en le reportant sur les bords fermes, ce qui soulage (temporairement) les piliers et autorise indirectement, une exploitation excessive et un sous-dimensionnement des piliers.

D'un point de vue général, les conditions d'apparition d'un effondrement en masse peuvent être précisées pour les deux cas d'exploitation suivants :

a) Cas d'une exploitation en plateure

Dans le cas d'un chantier situé dans un gisement stratifié subhorizontal ou très peu penté, constitué de bancs suffisamment raides, les mécanismes du comportement des bancs du toit sont bien connus : les points de rupture par flexion ou par cisaillement se situent sensiblement dans un plan proche de la verticale reliant les bords du chantier à la surface. Le panneau est généralement sollicité de manière homogène, ce qui permet une libération rapide de l'énergie emmagasinée à la rupture, entraînant des effets dynamiques. Les zones de cisaillement se développent simultanément au droit des bords du chantier et concernent, en surface, un domaine bien défini. L'effondrement est dit « généralisé ».

b) Cas d'une exploitation pentée

Dans le cas d'un chantier penté (en supposant toujours les bancs raides), les points de rupture, par flexion ou cisaillement, se distribuent en s'éloignant du bord inférieur du chantier selon un angle sensiblement perpendiculaire au pendage des bancs. La zone de cisaillement ou de glissement potentiel, mobilisée en aval, devient beaucoup trop grande pour permettre un effondrement en masse. Lorsque le pendage croît, le caractère instantané de la rupture devient peu probable.

Les témoignages et recherches documentaires ne recensent aucun événement de type effondrement en masse sur le secteur étudié mais décrivent des phénomènes d'affaissement. Toutefois, des effondrements de ce type ont été observés sur le PEX de Mazaugues (D30). Ils sont situés soit au droit de travaux dits « *dépilés* » soit au droit de vieux travaux très irréguliers (Secteur Mazaugues A). Il apparaît que ces effondrements ont été observés sur des secteurs de travaux peu profonds (< 50 m).

Aucune information n'a été recensée sur le moment où ces effondrements se sont produits. Il peut s'agir de l'effet du foudroyage peu profond ou d'un « effondrement en masse » spontané. Même si il est difficile de trancher de manière catégorique sur l'une ou l'autre des hypothèses, des zones voisines à ces effondrements présentent des caractéristiques favorables à ce type de phénomène. En effet, les exploitations du PEX de Mazaugues et des concessions de Tourves et Saint Julien présentent localement de grandes étendues et des piliers à fort élancement et à des profondeurs très diverses. De plus, le recouvrement est exclusivement constitué jusqu'à environ 140 m de profondeur d'une formation calcaire résistante caractérisant ainsi le massif par un comportement raide.

Les visites en souterrain ont confirmé la présence de quartiers d'exploitation à fort taux de défrètement ainsi que des secteurs de piliers ruinés où le toit reprend toute la charge sur des superficies importantes. Ces éléments conduisent à envisager l'aléa effondrement généralisé pour ces quartiers et secteurs répertoriés sur les concessions exploitées en plateure, à savoir : Tourves, Mazaugues et Saint Julien.

14.3.3 L'effondrement localisé

L'effondrement localisé se traduit en surface par l'ouverture d'un fontis en forme de cratère ou d'entonnoir, généralement circulaire. Ils peuvent se produire à l'aplomb de deux types de travaux miniers :

Les puits

L'effondrement localisé est généré par le débouillage ou coulissage des remblais au sein de la colonne du puits et/ou la rupture de la tête de puits.

Les galeries isolées et/ou les zones de travaux situées à faible profondeur

La phase informative a révélé un certain nombre d'éléments qui conduisent à retenir l'effondrement localisé comme phénomène possible, à savoir :

- la présence de vides miniers à des profondeurs comprises entre 0 à 50 m (tous secteurs de travaux confondus) ;
- l'existence de désordres et/ou de chutes de toit au sein des vides miniers ;
- la nature des terrains du toit constitué de calcaires potentiellement karstifiés et fissurés.

14.3.4 L'écroulement rocheux

Le site présente des zones d'exploitation à ciel ouvert avec des pentes rocheuses verticales. Le parement rocheux est très fracturé et des blocs sont susceptibles de se décrocher et venir s'ajouter à ceux déjà présents au pied de la paroi. C'est notamment le cas dans le quartier de la Baume Nord. L'aléa écoulement rocheux sera donc évalué dans la suite de l'étude.

14.3.5 Le glissement

Les glissements de terrain 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.

Compte tenu des caractéristiques de certains dépôts (faibles dimensions, granulométrie, composition) seul le phénomène de glissement superficiel est à envisager sur les dépôts du secteur étudié.

14.3.6 Le tassement

Le tassement correspond à la remobilisation ou la compaction de terrains de surface meubles (dépôts, versés) ou déconsolidés par des travaux miniers souterrains proches de la surface. Ces phénomènes de faible ampleur peuvent être favorisés par des perturbations externes de ces terrains (solllicitations statiques ou dynamiques, dues notamment à l'activité humaine ou à des variations hydriques). Sous ces conditions, deux configurations sont susceptibles de générer des mouvements de terrain de type tassement :

- les dépôts miniers recensés et constitués de matériaux mis en remblais, naturellement sensibles à ce type de phénomène ;
- les exploitations par foudroyage à faible profondeur où le recouvrement est déstructuré.

Le recouvrement rocheux au droit des travaux de foudroyage à faible profondeur sur le secteur étudié est constitué des calcaires résistants coniaciens qui ont un comportement « cassant ». Dans ce contexte les phénomènes d'effondrements localisé et/ou généralisé sont alors privilégiés. Pour cette raison, seul le tassement lié au dépôts sera retenu en aléa.

15 CONFIGURATIONS D'EXPLOITATIONS SOUTERRAINES

Pour clarifier l'évaluation des aléas liés aux exploitations souterraines, deux grandes types de travaux ont été définies. Il s'agit :

- des travaux avérés comprenant deux configurations d'exploitations :
 - chambres et piliers abandonnés identifiés sur plan ou suspectés dans les secteurs indiqués comme « *dépilé* » sur les plans (TRVX1a) ;
 - zones foudroyées (TRVX1b)
- de zones potentiellement affectés par les travaux miniers (TRVX2)

Remarque : Les configurations des travaux avérés ne concernent que les d'exploitations et excluent les ouvrages d'accès à savoir, les galeries et descenderies isolées et les puits. Pour ces ouvrages, l'évaluation des aléas (uniquement l'effondrement localisé) sont traités à part.

15.1 Les travaux en chambres et piliers abandonnés (TRVX1a)

Il s'agit des travaux miniers souterrains dont nous avons connaissance grâce aux documents d'archives ou par observations de terrain. Ces zones visitées sur le terrain ont montré des chambres et piliers abandonnés, certains étant accessibles à l'affleurement du minerai.

Le traitement des vides miniers n'est pas connu de manière précise pour l'ensemble des zones et nous ne pouvons donc pas exclure la présence de vides au sein des travaux soit parce qu'ils ont été peu ou pas remblayés, soit parce que les remblais mis en place manuellement sont peu efficaces et partiels et se sont tassés avec le temps notamment à la faveur des circulations d'eau. Dans tous les cas, il est probable qu'il reste des zones plus ou moins importantes de vides résiduels.

Lors des inspections en souterrain, certains secteurs de travaux répertoriés comme « *dépilés* » sur les plans des DADT se sont avérés accessibles. Les piliers étaient en mauvais état mais toujours en place. Ces zones ont été observées sur les exploitations de Tourves et Mazaugues lors de la visite de site (Secteur Mazaugues-C et D, Secteur Tourves-C). En outre, selon les spéléologues, des zones semblables sont aussi visibles sur la concession de Saint-Julien.

De même, bien que les exploitations aient été essentiellement menées par foudroyage, quelques zones de ce type sont encore présentes sur les PEX de Merlançon, Les Pourraques et Engardin à la lecture des plans. Ainsi, nous pouvons supposer que cette configuration est présente sur ces trois exploitations.

15.2 Travaux foudroyés (TRVX1b)

Il s'agit de travaux répertoriés comme « *foudroyés* » ou « *dépilés* » sur les plans retrouvés et qui le sont à priori sur site. Cela concerne les exploitations dont le foudroyage a été provoqué (torpillage des piliers). Plusieurs procès-verbaux de visite des exploitations récentes (années 1960 – 1970) et profondes, menées par foudroyage (indications reprises en particulier dans le DADT de la concession de Mazaugues), signalent que « *la répercussion des foudroyages en surface est progressive et d'amplitude limitée* ».

Les schémas d'exploitation et consignes de sécurité visaient à obtenir systématiquement une « *cassure nette* » des premiers bancs du toit dans la phase de torpillage des piliers.

Aucun affaissement en surface n'a été observé sur ces zones (mécanisme généralement observable à court terme). Seul un plan fait mention des affaissements au niveau du quartier de la Baume Sud de l'exploitation de Mazaugues (cf. figure 45). Au droit de cette zone, les travaux miniers souterrains sont cartographiés comme étant « foudroyés ». Les observations de terrain réalisées sur ce site n'ont pas montré la présence d'affaissements en surface (difficilement observable compte tenu de la topographie marquée dans ce secteur).

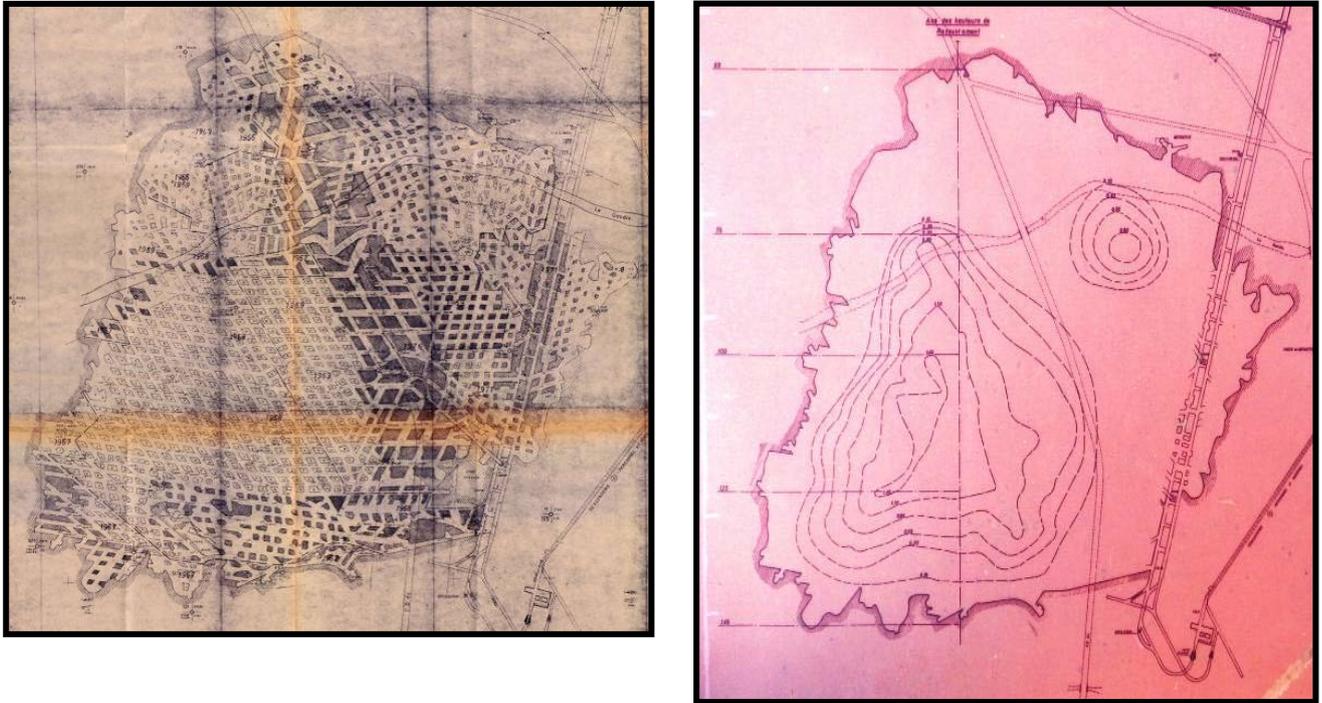


Figure 45 : Plan du quartier dit « Baume Sud » du PEX de Mazaugues et iso-amplitudes des affaissements (en mètre) relevés

15.3 Zones potentiellement affectées par les travaux miniers (TRVX2)

Il s'agit soit :

- de travaux avérés par la présence de désordres ou d'autres indices mais pour lesquels aucun plan minier n'a été retrouvé. Des enveloppes de zones potentiellement affectés par les travaux miniers ont été définies à partir des observations de terrains
- de travaux à l'affleurement entre deux zones de travaux avérés. Aucune information n'est disponible mais compte tenu du retour d'expérience des sites d'exploitation, il y est suspecté la présence de travaux.

16 EVALUATION DES ALEAS AFFAISSEMENT ET EFFONDREMENT GENERALISE

Afin d'évaluer les aléas affaissement et effondrement généralisé, la première démarche consiste à évaluer la stabilité à long terme des exploitations en chambres et piliers abandonnés (configuration TRVX1a). Pour cela, il est nécessaire de réaliser un diagnostic approfondi qui ne s'inscrit pas dans le cadre d'un simple avis d'expert. Une étude de stabilité se traduit classiquement par l'estimation d'un coefficient de sécurité F_s (annexe 6). Le facteur de sécurité F_s correspond, par définition, au rapport entre la résistance des piliers en place ou résistance ultime du matériau (R_u) et la contrainte moyenne (Q_n) appliquée sur les piliers d'une zone exploitée donnée. Le facteur de sécurité est donc égal à :

$$F_s = R_u / Q_n$$

Pour un facteur de sécurité inférieur à 1, le pilier est instable voire déjà ruiné. Pour une valeur supérieure à 2, le pilier est réputé stable. Pour F_s compris entre 1 et 2, le pilier est théoriquement stable mais sa stabilité doit être confirmée au cas par cas, selon les caractéristiques du site et les incertitudes sur les valeurs introduites dans le calcul.

Lorsque la largeur totale de la zone exploitée est au moins supérieure à une fois la profondeur (largeur dite « sur-critique »), on admet que chaque pilier doit supporter la partie des terrains de recouvrement qui se trouve au-dessus de lui ainsi que celle qui surplombe la moitié de la surface de la chambre qui l'entoure. Cette approche d'évaluation de stabilité correspond à la méthode de calcul par l'aire tributaire utilisée dans le cas présent (cf. annexe 7). Pour ce faire, il est nécessaire de connaître les caractéristiques du matériau qui compose les piliers (couche exploitée).

Les archives retrouvées ne font pas mention d'essais géomécaniques réalisés sur la bauxite du bassin de Mazaugues. Cependant, Fine en 1998 (cf.[9]) a caractérisé les gisements de bauxite et notamment celui de Mazaugues (cf. tableau).

R_c : Résistance à la compression en MPa	R_e : Limite élastique en MPa	E : Module de Young en MPa	Coefficient de Poisson
55	50	36 000	0,21

Tableau 7 : Principales caractéristiques de la bauxite de Mazaugues

L'application du rapport de $R_u = R_c / 3$, considérée comme sécuritaire, donne dans le cas de la bauxite du bassin de Mazaugues, une résistance ultime (R_u) d'environ 18 MPa. Cela n'explique pas la ruine de piliers observée sur plusieurs secteurs relativement peu profonds des PEX de Mazaugues et de la concession de Tourves. En effet, les visites en souterrain ont permis de relever des quartiers en chambres et piliers abandonnés dont la ruine est en cours soit au cœur de dépilages incomplets (exemple des secteurs Tourves C et D, cf. § 12.2) soit en bordure de foudroyages (exemple du secteur Mazaugues B, cf. § 12.3.2). Ces travaux présentent un taux de défrètement compris entre 85% (piliers de 3 m de côté et galeries de 5 m de large) et 90 % et se situent à environ 50 m de profondeur. Ainsi, selon le calcul de l'aire tributaire, ces piliers ont subi une contrainte verticale comprise entre 9 et 12 MPa, soit un rapport de l'ordre de $R_u = R_c / 5$.

Par ailleurs, les observations en souterrains sur les exploitations du bassin de bauxite de Mazaugues montrent une dégradation très importante depuis la récente fin des travaux. Les exploitations en chambres et piliers sont particulièrement en mauvais état avec une observation régulière de piliers ruinés même à faible profondeur. L'importante fracturation du toit, de la couche de bauxite et du mur s'accompagne d'une forte karstification des formations calcaires coniaciennes. Ces éléments amènent à conclure que les effets de site sont exceptionnellement importants sur le secteur d'étude. C'est pourquoi, le coefficient lié à la prise en compte dans les calculs de stabilité des effets de temps, d'échelle, d'élançement a été volontairement dégradé.

16.1 Prédiction

Parmi les secteurs où la ruine de l'édifice minier apparaît inéluctable à long terme, le choix de retenir un mécanisme d'affaissement ou d'effondrement en masse s'avère délicat compte tenu des contradictions entre les écrits d'archives (description d'affaissement suite au foudroyage) et les observations sur site (aucun indice d'affaissement au droit des zones foudroyées mais observations de quelques effondrements en masse).

Les terrains immédiats de recouvrement constitués des massifs calcaires coniaciens résistants sont caractérisés par un comportement raide ne favorisant pas un affaissement mais plutôt un « effondrement généralisé » (cf. § 15.2.1). Au-delà de 75 m de profondeur, les calcaires sont surmontés des alternances marno-calcaires ou argilo-sableuses santoniennes, formations qui ont un comportement souple à la rupture et favoriseront le phénomène d'affaissement. De plus, pour qu'un effondrement généralisé se produise, il est nécessaire que le schéma d'exploitation soit relativement régulier sur de grande portée avec absence de piliers barrières. En effet, s'il existe bien des secteurs de piliers largement sous-dimensionnés, leur emprise est souvent limitée par des zones moins « dégraissées » qui peuvent servir ponctuellement de points d'appuis favorisant ainsi la ruine progressive et non un comportement brutal.

A partir de ces éléments, il est considéré deux cas de figure selon les configurations d'exploitations rencontrées :

- pour les zones en chambres et piliers abandonnés retenus comme instables à long terme ou les zones dites « *dépilées* » et mais toujours en place sur site et dont la profondeur n'excède pas 75 m, une rupture brutale type effondrement « en masse » (ou généralisé) sera plus probable ;
- pour les zones en chambres et piliers abandonnés retenus comme instables à long terme juxtaposées à des zones foudroyées (toit déjà déstructuré n'agissant plus comme un banc raide) et situées au-delà de 75 m de profondeur, un phénomène d'affaissement sera plus probable.

16.1.1 Concession de Tourves

Sur la concession de Tourves, les travaux en chambres et piliers abandonnés dont la stabilité à long terme ne peut être garanti se situent à moins de 75 m de profondeur. Le phénomène retenu pour ces travaux est l'effondrement généralisé.

Les plans d'archives et les observations sur site lorsque les travaux sont accessibles révèlent de grandes variations dans les dimensions des piliers et des chambres sur la concession de Tourves.

Le Secteur Tourves-D (secteur indiqué comme dépilé de la Baume Nord, cf. figure 46) présente de grands piliers à faible section et à fort élancement sur une largeur sur-critique. Le taux de défruitement atteint régulièrement 95%. La stabilité à long terme des piliers n'est pas assurée, le coefficient de sécurité étant très inférieur à 1 (cf. annexe. 7). La prédisposition à l'effondrement y est évaluée comme sensible. Des travaux similaires ont été observés dans le secteur Tourves-C, pour lesquels la prédisposition à l'effondrement est également évaluée à un niveau sensible. Aucune archive ne relate la bonne qualité des dépilages réalisés sur la concession de Tourves. De plus ces derniers, peu profonds, sont probablement anciens et donc supposés réalisés sans torpillage des piliers. Ainsi, des secteurs semblables existent peut-être au cœur de ces dépilages, l'ensemble des travaux n'ayant pas été visité. Ces éléments conduisent à retenir en aléa effondrement généralisé l'ensemble des dépilages de la concession de Tourves. Leur prédisposition est néanmoins dégradée à peu sensible en raison de l'absence d'observations claires de zones de chambres et piliers abandonnés (dépilages non accessibles ou non visités).

Les travaux au sud du secteur Tourves-C (cf. figure 46), compris entre 45 et 65 m de profondeur, présentent un schéma d'exploitation irrégulier avec trois bandes de « pré-dépilages » entre les galeries de niveaux elles-mêmes en partie reprises. Ces secteurs « pré-dépilés » au défruitement de l'ordre de 90 % se révèlent instables à long terme mais présentent des largeurs sous-critiques (largeur 30 à 50 m) compte tenu des piliers de bonne dimension (section de 8 m x 10 m pour les plus petits) laissés au niveau des galeries de niveau. Cette configuration permet de ne pas y retenir d'aléa.

Les travaux au sud du secteur Tourves-B (cf. figure 47), compris entre 50 et 100 m de profondeur, présentent également un schéma d'exploitation irrégulier avec une alternance de piliers carrés, triangulaires ou trapézoïdaux. Leur taille est néanmoins relativement homogène, donnant un taux de défruitement moyen de l'ordre de 75 %. Les sollicitations des piliers calculées entre 6 à 8 MPa permettent de considérer qu'ils sont stables. Seul le secteur plus défruité en limite sud de la zone dépilée a été considérée avec une prédisposition peu sensible.

Les travaux du quartier situé en limite sud de la descenderie Callas (coté est, cf. figure 46) montrent un schéma d'exploitation régulier avec un taux de défruitement de 75 % (piliers de section 5 m x 5 m et galerie de 5 m de large). Situé à 100 m de profondeur, la sollicitation sur les piliers atteint 10 MPa donnant à un coefficient de sécurité voisin de 1. Cependant, ce quartier présente une zone centrale vierge qui rend les exploitations périphériques sous-critiques, considérant ainsi l'absence d'aléa sur ce quartier.

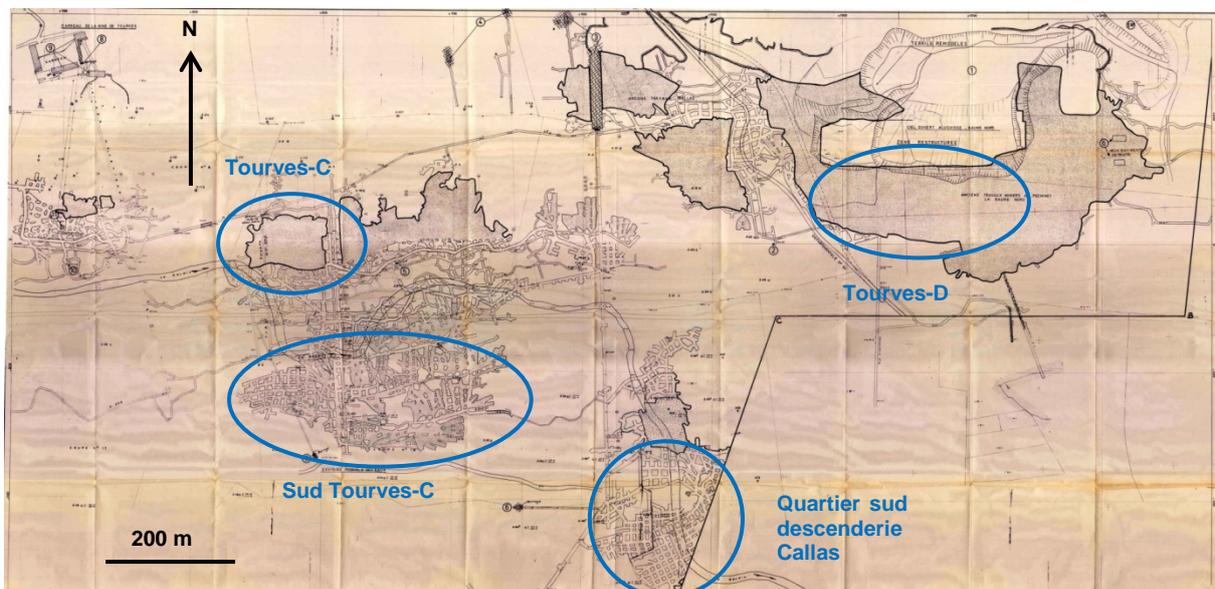


Figure 46 : Concession de Tourves partie est - Secteurs en chambres et piliers abandonnés

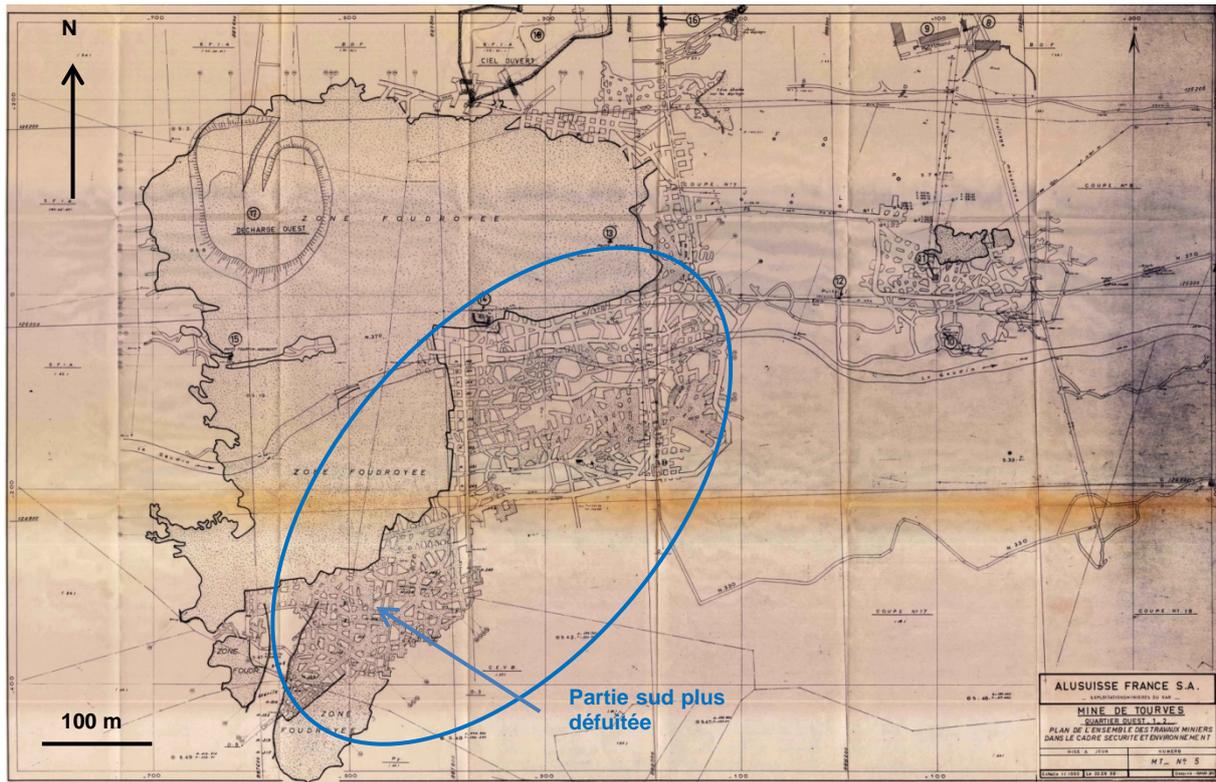


Figure 47 : Concession de Tourves partie ouest - Secteurs en chambres et piliers abandonnés

16.1.2 PEX de Mazaugues

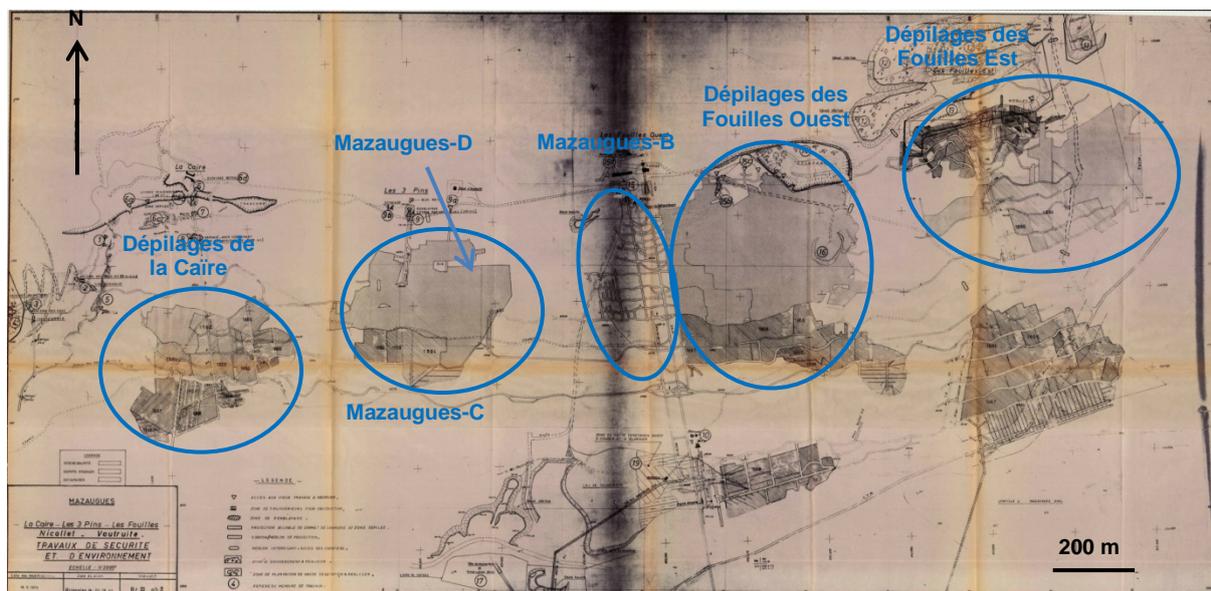
Neuf secteurs en chambres et piliers abandonnés ont été identifiés sur le PEX de Mazaugues.

Le premier concerne les travaux à l'affleurement de La Caire (Mazaugues-A, cf. § 12.3.1). Bien que fortement défruité, la profondeur de ces travaux n'excède pas 15 m ce qui favorisera le phénomène d'effondrement localisé. Les aléas effondrement généralisé et affaissement y sont écartés.

Le stot des descenderies des Fouilles Ouest (Mazaugues-B, cf. figures 48 et 36 AU § 12.3.2) présente un taux défruitement très faible au nord (inférieur à 50%) et compris entre 65 et 75 % au sud. Tenant compte du défruitement maximal (75%) et de la profondeur maximale (50 m), les piliers restent peu sollicités (5 MPa). De plus, les visites de ces travaux ont montré que le toit ainsi que les piliers sont globalement sains. Seuls deux à trois piliers en bordure de foudroyage sont en cours de ruine. Ces éléments permettent d'y exclure les phénomènes d'effondrement généralisé et d'affaissement. A ces faibles profondeurs, le phénomène d'effondrement localisé sera privilégié.

Le secteur Mazaugues-C (cf. figure 48 et § 12.3.3) correspond au quartier des 3 Pins indiqué comme dépilé sur les plans mais restant accessible. Il a été constaté lors des visites en souterrain que ces travaux, mal dépilés, sont en très mauvais état et caractérisés par des salles de grandes portées entre les piliers en cours de ruine ou ruinés (cas particulier évoqué dans le secteur Mazaugues-D). Ces travaux n'excèdent pas 60 m de profondeur et sont ainsi recouverts exclusivement des calcaires coniaciens. Ils présentent une prédisposition sensible à très sensible à l'effondrement généralisé. En ce qui concerne les dépilages d'apparence similaire (même tracé sur les plans, profondeur équivalente) des quartiers de la

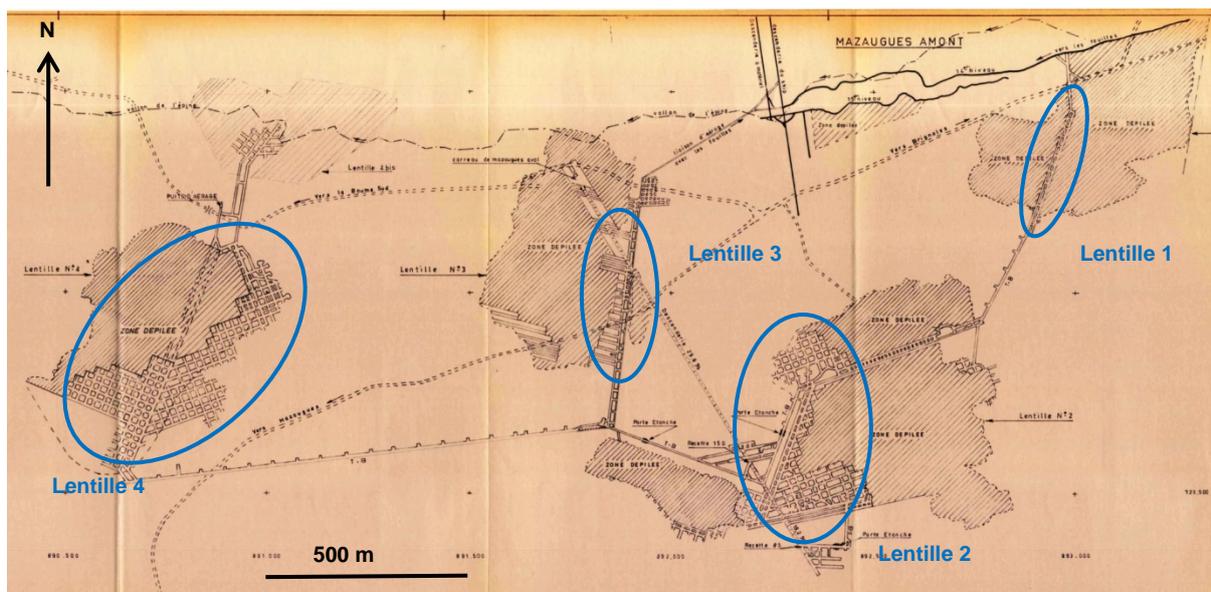
Caïre et des Fouilles Ouest et Est, aucun élément ne permet d'écarter la présence de configurations identiques. En outre, les spéléologues affirment que la progression dans ces dépilages est possible sur de grandes distances en particulier pour celui du quartier de la Caïre. Ainsi, à l'image des travaux de Tourves (cf. ci-avant), un niveau de prédisposition peu sensible à l'effondrement généralisé est retenu pour les dépilages situés à moins de 75 m de profondeur, en raison de l'absence d'observations claires de zones de chambres et piliers abandonnés (dépilages non accessibles ou non visités).



**Figure 48 : PEX de Mazaugues (Quartiers de Mazaugues Amont)
Secteurs en chambres et piliers abandonnés**

Les autres travaux en chambres et piliers abandonnés répertoriés concernent des travaux plus profonds. Il s'agit de stots (protection routes en surface ou d'infrastructures souterraines) ou d'exploitations non achevées (arrêtées avant le foudroyage) en bordure des foudroyages provoqués (torpillage des piliers) des lentilles 1 à 4 de Mazaugues Aval (cf. figure 49) et du quartier de la Baume Sud (cf. figure 45 au § 15.3). Les sollicitations calculées sur les piliers non foudroyés des lentilles 1 à 4 de Mazaugues Aval varient de 10 à 24 MPa ce qui ne garantit pas leur stabilité à long terme. Les profondeurs de ces travaux sont au minimum de 135 m. Le phénomène d'affaissement y est retenu avec une prédisposition peu sensible pour les travaux des lentilles 1, 3 et 4 et sensible pour les travaux profonds et plus défruités de la lentille 2.

Le quartier de la Baume Sud a été exploité entre 65 et 140 m de profondeur. Le phénomène d'affaissement sera privilégié. Le stot de protection de la RD 64 n'est défruité qu'à environ 50 % et sollicité qu'à hauteur de 5 MPa ce garantissant sa stabilité. En revanche au sud et à l'est de ce stot, le foudroyage des piliers n'a été que partiel. A la lecture du plan et après analyse des iso-amplitudes d'affaissement (cf. figure 45 au § 15.3), des zones de chambres et piliers abandonnés fortement défruités (85 %) sont encore présents. Les calculs montrent que la stabilité de ces zones n'est pas assurée (coefficient de sécurité $\ll 1$). La prédisposition à l'aléa affaissement y est ainsi évaluée à un niveau sensible.



**Figure 49 : PEX de Mazaugues (Quartiers de Mazaugues Aval)
Secteurs en chambres et piliers abandonnés**

16.1.3 Concession de Saint-Julien

Trois secteurs de chambres et piliers abandonnés sont identifiés sur la concession de Saint-Julien (cf. figure 50).

A l'ouest de la concession, une zone triangulaire isolée en limite de la faille des Fouilles (à proximité du PEX de Mazaugues) de 60 m de large présente des travaux réguliers avec un fort taux de défrètement (90 %) à une profondeur variant de 35 à 50 m. La contrainte verticale y est de l'ordre 11 MPa. Le coefficient de sécurité est de l'ordre de 1. Le recouvrement n'est composé que des calcaires coniaciens, favorisant ainsi un phénomène d'effondrement en masse.

Sur la lentille 2, la partie située au droit de la route départementale n° 95, n'a pas été foudroyée et a été laissée en chambres et piliers abandonnés. Le schéma d'exploitation est régulier (taux de défrètement mesurée sur plan à 75 % alors qu'il est défini à 50 % dans le DADT). Située à 125 m de profondeur en moyenne, la contrainte verticale qui s'applique sur les piliers est de 13 MPa, supérieure au R_u confirmant l'instabilité potentielle de ce secteur. Pour ce dernier, le phénomène d'affaissement sera privilégié.

Sur la lentille 1, un petit secteur de quelques rangées de chambres et piliers abandonnés (30 à 50 m de large au total) ont été maintenus en bordure est du défilage⁶. Présentant un schéma d'exploitation peu régulier, le taux de défrètement y est de l'ordre compris entre 85 % et 90 %. Situé entre 50 et 70 m de profondeur, les piliers y sont sollicités en moyenne à hauteur de 11 MPa. Le coefficient de sécurité est de l'ordre de 1 ne garantissant pas la stabilité à long terme de cette zone. Le recouvrement y est composé des calcaires coniaciens surmontés de plus de 40 m d'alternances calcaires, gréseuses et marnosableuses santoniennes. Pour ce secteur, le phénomène d'affaissement sera privilégié.

⁶ Il existe également un petit panneau en chambres et piliers abandonnés en limite sud du défilage mais celui-ci est séparé de ce dernier par une zone vierge. Il apparaît largement sous-critique ce qui permet d'y écarter tout aléa.

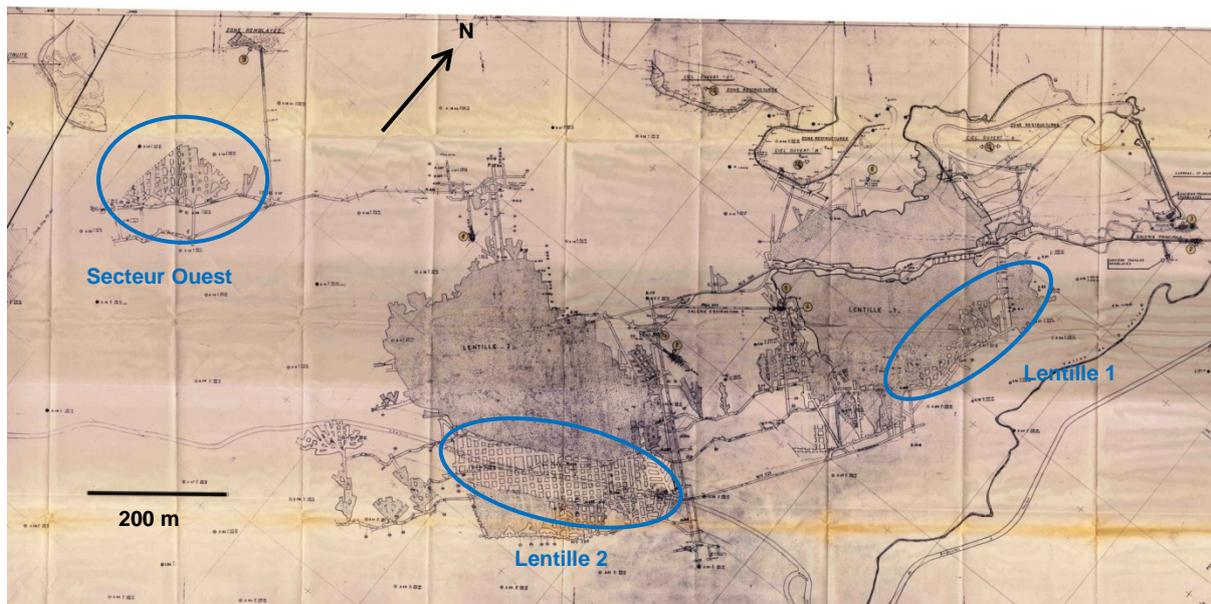


Figure 50 : Concession de Saint Julien - Secteurs en chambres et piliers abandonnés

Pour ces trois secteurs, la prédisposition à l'effondrement généralisé ou affaissement y est définie comme sensible.

Les archives décrivent une méthode d'exploitation par foudroyage mais sans préciser s'ils étaient provoqués ou non par torpillage des piliers. De plus, ces documents signalent qu'à faible profondeur la reprise d'anciens travaux (probablement avant foudroyage). D'après les témoignages des spéléologues, une partie de ces exploitations sont encore accessibles avec localement des piliers encore en place. A l'image des « dépilages » de la concession de Tourves et compte tenu de la faible capacité à la bonne venue du toit lors des opérations de foudroyage (non provoqué) à faible profondeur, le phénomène d'effondrement généralisé est retenu pour les parties des dépilages situées à moins de 75 m de profondeur avec un niveau de prédisposition peu sensible.

16.2 Intensité

Selon le guide méthodologique (cf. [2]), l'effondrement généralisé se caractérise par un effondrement en masse dynamique de la surface sur une grande extension⁷. Ainsi, quel que soit son amplitude, il est retenu systématiquement une intensité élevée pour ce phénomène.

En ce qui concerne l'affaissement, les caractéristiques retenues dans le guide méthodologique pour l'évaluation de l'intensité sont les déformations différentielles horizontales et/ou les mouvements de mise en pente du sol plutôt que l'affaissement maximal (cf. tableau 8). Ces valeurs matérialisent mieux les dégâts potentiels sur les biens situés en surface.

⁷ L'aire affectée en surface et l'ampleur du phénomène restent par contre difficiles à préciser mais elles sont susceptibles d'affecter gravement plusieurs centaines de mètres carrés.

Classe d'intensité	Mise en pente (en %)
Très limitée	0 < P < 1
Limitée	1 < P < 3
Modérée	3 < P < 6
Elevée	P > 6

Tableau 8 : Classes d'intensité de l'aléa affaissement (cf. [2])

La rétronalyse de l'affaissement du quartier de la Baume Sud⁸, montre que les mises en pente varient de 1 à 3,5 % selon la situation du côté ouest non exploité (zone vierge), coté est en limite du stot de la RD64 ou encore en amont et aval pendages. En considérant, la mise en pente la plus élevée (P_{max} , correspond à celle de l'amont pendage), sa valeur est calculée à partir de la relation suivante :

$$P_{max} = 4,5 \times A_{max} / H$$

Où :

A_{max} est l'amplitude d'affaissement maximale

H, la profondeur moyenne du panneau

De même, à partir de la rétronalyse de l'affaissement du quartier de la Baume Sud⁹, l'amplitude d'affaissement maximale est définie suivant la relation :

$$A_{max} = 0,25 \times w \times \tau$$

Où :

w est l'ouverture exploitée

τ , le taux de défrusement

Le tableau suivant dresse les valeurs d'amplitude d'affaissement et de mises en pente calculées. Le niveau d'intensité est évalué selon les gammes du guide méthodologique.

Titre minier	Secteurs en chambres et piliers abandonnés	Amax (en m)	Pmax (en m)	Intensité
Mazaugues (PEX)	Aval - Lentille 1	0,7	2,4	Limitée
	Aval - Lentille 3	0,6	1,3	Limitée
	Aval - Lentille 4	0,7	2,2	Limitée
	Aval - Lentille 2	0,9	1,3	Limitée
	La Baume Sud (secteur sud)	1	3,6	Modérée
	La Baume Sud (secteur est)	1	7,3	Elevée
Saint-Julien (concession)	Lentille 2	1,3	10	Elevée
	Lentille 1	0,9	3,7	Modérée

Tableau 9 : Détermination des niveaux d'intensité des secteurs retenus en aléa « affaissement »

⁸ Amplitude d'affaissement maximale de 1,4 m, taux de défrusement de 95% (avant torpillage) et ouverture exploitée moyenne prise à 6 m.

⁹ Amplitude d'affaissement maximale de 1,4 m, taux de défrusement de 95% (avant torpillage) et ouverture exploitée moyenne prise à 6 m.

16.3 Evaluation des aléas affaissement et effondrement généralisé

Le tableau ci-dessous synthétise les différentes classes d'aléa selon les configurations prédéfinies et obtenues par phénomènes et en croisement les niveaux de prédisposition et d'intensité retenus.

Titre minier	Secteurs en chambres et piliers abandonnés	Phénomène	Prédisposition	Intensité	Aléa
Tourves (concession)	Quartier Ouest (Tourves-B) – Zone très défruite en limite de dépilage sud	Effondrement généralisé	Peu sensible	Elevée	Moyen
	Dépilages incomplets (Tourves-C et D)	Effondrement généralisé	Sensible	Elevée	Fort
	Dépilages incomplets (autres quartiers)	Effondrement généralisé	Peu sensible	Elevée	Moyen
Mazaugues (PEX)	Dépilages incomplets (Amont - 3 Pins)	Effondrement généralisé	Sensible à très sensible	Elevée	Fort
	Dépilages incomplets < 75 m de profondeur (Amont - La Caire, Les Fouilles Ouest et Est)	Effondrement généralisé	Peu Sensible	Elevée	Moyen
	Aval - Lentille 1	Affaissement	Peu Sensible	Limitée	Faible
	Aval - Lentille 3				Faible
	Aval - Lentille 4				Faible
	Aval - Lentille 2	Affaissement	Sensible	Limitée	Faible
	La Baume Sud (hors stot RD 64)	Affaissement	Sensible	Modérée à Elevée	Fort
Saint-Julien (concession)	Secteur ouest	Effondrement généralisé	Sensible	Elevée	Fort
	Lentille 2	Affaissement	Sensible	Elevée	Fort
	Lentille 1			Modérée	Moyen
	Dépilages incomplets < 75 m de profondeur	Effondrement généralisé	Peu sensible	Elevée	Moyen

Tableau 10 : Détermination des niveaux aléas « affaissement » et « effondrement généralisé »

17 EVALUATION DE L'ALEA EFFONDREMENT LOCALISE

17.1 Description du phénomène

Un effondrement localisé correspond à une rupture des terrains qui ne concerne qu'une zone d'extension limitée à quelques mètres en surface. L'apparition des effondrements localisés en surface est brutale et n'est généralement pas accompagnée d'indices précurseurs visibles.

Le phénomène d'effondrement localisé est causé par l'instabilité locale d'une cavité souterraine. Cette instabilité peut se propager au travers des couches situées au-dessus et créer de cette manière un cratère en surface. Les matériaux impliqués sont donc déplacés et déstructurés de manière importante. La figure 51 schématise les processus possibles à l'origine de ce type de phénomène.

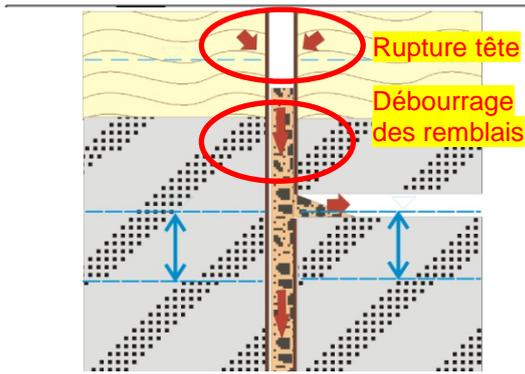
La vitesse de propagation de l'effondrement souterrain peut varier en fonction de plusieurs facteurs. Pour analyser la progression du phénomène et surtout son apparition en surface, deux conditions doivent être analysées :

- 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.

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 de couches compétentes ou ayant des propriétés spécifiques peut stopper la propagation de l'effondrement.

Le foisonnement des matériaux géologiques est un phénomène connu. Il n'est cependant pas mesuré de manière systématique et il n'existe aucun standard reconnu pour sa détermination. Le phénomène d'auto-comblement est donc difficile à évaluer de manière rigoureuse, mais on admet le plus souvent que la probabilité d'apparition d'un fontis en surface diminue (à cavité de dimension égale) avec la profondeur de la cavité. Pour les galeries isolées de dimensions habituelles (de 6 à 12 m² de section), les retours d'expérience permettent d'affiner la limite d'apparition du fontis en surface, qui 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'évaluation basées sur l'évaluation naturaliste des coefficients de foisonnement, elles doivent également s'appuyer sur l'observation d'un nombre suffisant d'instabilités, survenues dans les mêmes conditions géomécaniques pour pouvoir être validées.



Mécanismes d'effondrements liés au puits

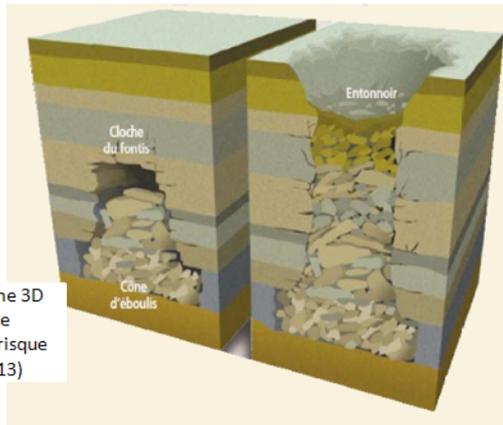
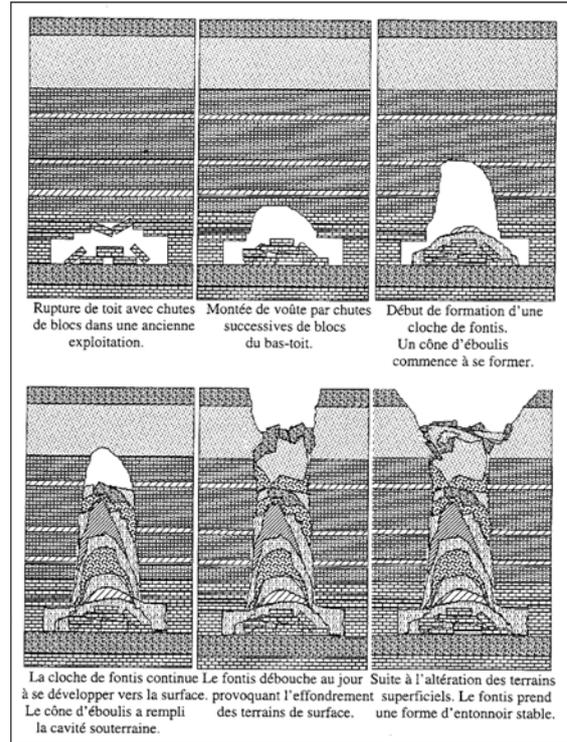
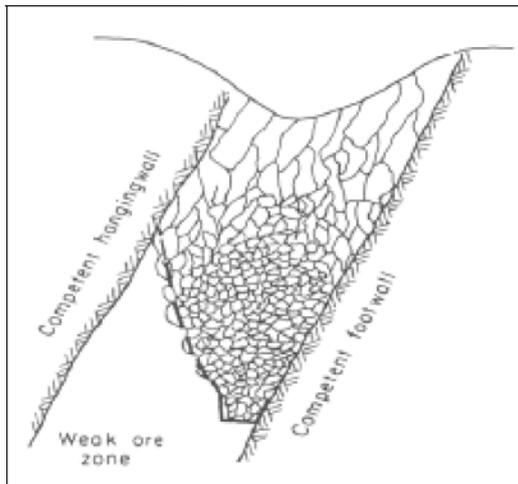
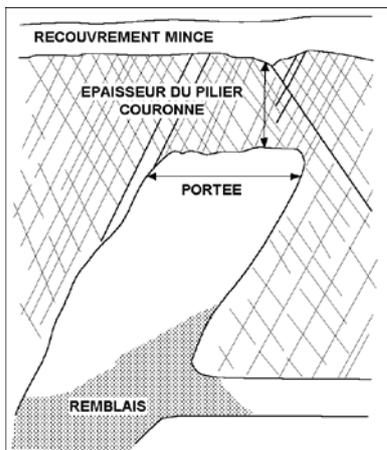


Diagramme 3D (source plaquette risque minier 13)



Processus de remontée de fontis



Principe de rupture de pilier couronne

Figure 51 : Schématisations des processus à l'origine des effondrements localisés retenus pour le bassin de bauxite de Mazaugues

Outre le guide méthodologique des aléas (cf. [2]), l'évaluation de l'aléa « effondrement localisé » s'appuie également sur des guides techniques réalisés spécifiquement pour ce type de phénomène et sur la base des retours d'expérience (cf. [4], [5], [6] et [10]).

17.1.1 Cavités à l'origine des effondrements localisés

Les effondrements localisés peuvent être ainsi classés en fonction des excavations à l'origine de leur apparition (galerie, intersection de galerie, chantiers, puits, pilier couronne, etc.), susceptibles de montrer des stabilités contrastées suivant leurs caractéristiques.

Selon les mécanismes initiateurs, il est distingué :

- l'effondrement localisé relatif aux galeries ou descenderies isolées (par éboulement de toit ou d'une voûte de galerie) ;
- l'effondrement localisé relatif aux zones d'exploitations ;
 - en plateure, par rupture de pilier(s) isolé(s) ou du toit des chambres exploitées ;
 - en dressant, par rupture de la couronne et/ou coulissage des remblais dans les niveaux inférieurs ;
- l'effondrement localisé consécutif au déboufrage d'un puits et/ou à la rupture de sa tête.

En raison des configurations des travaux rencontrés sur le secteur d'étude, tous ces mécanismes sont susceptibles d'engendrer un phénomène d'effondrement localisé.

17.1.2 Zone d'altération superficielle

La zone d'altération superficielle correspond aux terrains à faible cohésion et non foisonnants facilement mobilisables et ainsi susceptibles d'être immédiatement affectés par une instabilité.

L'épaisseur de la zone d'altération superficielle est un paramètre déterminant pour les dimensions des désordres potentiels, elle est donc importante pour l'estimation de l'intensité du phénomène d'effondrement localisé.

Les observations de terrain ont montré que l'environnement des travaux miniers est peu vallonné aux rochers calcaires affleurant certes très fracturés mais sans présence significative de sols. Considérant ces observations et la rétroanalyse des désordres (cratères peu évasés au flancs très redressés à subverticaux), l'épaisseur de la zone d'altération est retenue à **1 m**.

17.2 Aléa effondrement localisé lié aux galeries isolées et descenderies

Les ouvrages miniers étudiés ici sont des galeries permettant la communication entre la surface et les travaux souterrains. Ces ouvrages ont pu être creusés en couches ou en travers-bancs.

L'effondrement localisé lié aux galeries isolées et descenderies est initié principalement par l'effondrement du toit. Lorsque la voûte ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface. Si l'espace disponible au sein de la galerie est suffisant pour que les matériaux éboulés et foisonnés puissent s'y accumuler sans bloquer le phénomène par « auto-comblement », la voûte peut alors atteindre la surface.

L'approche utilisée dans ce paragraphe procède par configuration-type, distinguant les galeries horizontales des descenderies dont l'inclinaison est supérieure à 30°. En effet, il est considéré qu'entre 30 et 40° d'inclinaison (cas des descenderies du secteur étudié), l'angle limite à partir duquel les matériaux éboulés peuvent se stabiliser dans l'ouvrage est atteint. Dans ces conditions et compte tenu des variations locales (matériaux plus ou moins argileux, granulométrie des blocs éboulés, présence d'eau, etc.), les matériaux peuvent partiellement coulisser dans l'ouvrage réduisant ainsi la capacité d'autocomblement.

17.2.1 Evaluation de la prédisposition

a) Configurations

La grande majorité des galeries et descenderies sont considérées comme horizontales ou faiblement pentées ($< 30^\circ$). Leur section varie de 1,5 à 3 m de largeur et de 1,5 à 4 m de hauteur.

Le travers-bancs de Merlançon (G174) sur le PEX de Merlançon présentant de grandes dimensions (section de 5 m x 5 m pour une inclinaison de 20°) sera traité à part.

Huit descenderies pentées ($\geq 30^\circ$) ont été par ailleurs clairement identifiées et seront traitées à part, à savoir G18, G31 (Descenderie de Bézud), G33 (Descenderie de Mazaugues Aval), G46 (Descenderie de Vautruite), G49, G147 (Descenderie du Collet Rouge), G170 (Skip) et G173.

b) Présence de bancs résistants dans le recouvrement

La présence de certains bancs massifs sains au sein du recouvrement permet de supposer qu'une montée de voûte peut s'arrêter sans qu'il y ait nécessairement un « auto-comblement » des terrains foisonnés dans les galeries.

Le recouvrement des travaux du secteur étudié est constitué en grande partie de bancs calcaires. Bien que ce type de formation rocheuse soit résistant, il est évolutif (calcaires très facturés, sensibles à l'eau avec forte karstification observée) et ne constitue pas un « banc » suffisamment « raide » pour exclure à long terme ses capacités à la rupture et à la remontée d'instabilité.

c) Remontée de cloche de fontis

La remontée d'une cloche de fontis par dégradation des terrains au-dessus d'une galerie peut se poursuivre tant que le foisonnement n'a pas permis de combler le vide disponible dans celle-ci. Sur ce principe, et sans tenir compte d'un éventuel remblayage des galeries, des calculs basés sur une approche volumique déterministe (également appelée approche par modèle cylindrique) s'attachant à la hauteur de remontée de cloche de fontis ont été réalisés (cf. [11] et annexe 4). En comparant cette hauteur à l'épaisseur du recouvrement, il est possible de déterminer si l'effondrement apparaîtra en surface ou non.

Le modèle de calcul utilisé prend en compte les paramètres suivants :

- les caractéristiques géométriques des galeries à faible profondeur. D'expérience, le rayon du fontis au toit des travaux varie dans une gamme de 80% à 100% du rayon maximal possible ;
- l'angle naturel des terrains de recouvrement, ayant pour valeur moyenne 40° par rapport à l'horizontal ;
- un coefficient de foisonnement de 1,4 pour les calcaires (valeurs de coefficient de foisonnement issues de la classification R.T.R.¹⁰).

¹⁰ Recommandations pour les Terrassements Routiers (RTR). SETRA et LCPC. 1976.

d) Traitement des ouvrages

Une soixantaine de galeries et descenderies ont fait l'objet de travaux d'obturation dans le cadre des Déclarations d'Arrêt Définitif des Travaux (DADT). Ces obturations ont été réalisées au niveau des entrées par foudroyage et talutage ou par remblayage (parfois appuyé sur un mur en béton armé). Ces travaux dédiés à l'obturation ne permettent pas d'assurer la stabilité du corps de l'ouvrage peu profond en arrière du traitement. En revanche, quatre descenderies, G54 (concession de Saint-Julien), G24 (descenderie A concession de Mazaugues), G25 (descenderie D concession de Mazaugues) et G33 (descenderie de Mazaugues Aval), ont été le siège de travaux de remblayage sur 25, 30 ou 50 m de longueur. En l'absence de données précises sur les volumes de remblais mis en place et sur le clavage, des vides résiduels peuvent persister, ce qui ne permet d'écarter totalement la prédisposition à l'effondrement localisé.

17.2.1.1 Prédisposition pour les galerie isolées et descenderies faiblement pentées (< 30°)

Les résultats des calculs de remontée de voûte (cf. annexe 4) indiquent qu'un fontis initié au sein d'une galerie isolée ou une descenderie faiblement pentée peut déboucher au jour si l'épaisseur du recouvrement (hors terrains non cohésifs et non foisonnants de surface) ne dépasse pas 25 m. Exceptionnellement cette remontée peut être plus importante (28 m) si la galerie est large et haute (cas très défavorable). Néanmoins, pour tenir compte des variations locales des terrains de recouvrement (fracturation, potentiel de karstification, épaisseur des terrains non cohésifs de surface (prise à 1 m), etc.), la limite de hauteur de remontée de voûte est prise à 30 m.

Les observations de terrain et les données issues des archives ont révélé que pour les galeries :

- les effondrements localisés ont été observés à proximité immédiate de la tête de galerie, aucun désordre n'a été observé au-delà de 20 mètres de l'entrée de la galerie ;
- le soutènement des galeries était minimal et au plus réalisé en bois ;
- les éboulements étaient fréquents au niveau des galeries lors de l'exploitation ;
- les terrains sont fracturés et ont tendance à converger rapidement ;

En considérant ces différents points, la prédisposition des galeries vis-à-vis de l'effondrement localisé a été dissociée de la manière suivante :

- sensible au phénomène d'effondrement localisé au droit des parties de galeries à moins de 30 m de profondeur ;
- nulle au-delà de 30 m de profondeur.

La prédisposition est dégradée d'un niveau pour les descenderies G54, G24, et G25 compte tenu de leur traitement par remblayage. La prédisposition passera donc de sensible à peu sensible sur les portions de ces galeries à moins de 30 m de profondeur.

17.2.1.2 Prédiposition pour le TB de Merlançon (G174)

Le TB de Merlançon (G174), de 5 m x 5 m de section et incliné de 20°, est ouvert sur 90 m de distance jusqu'à atteindre l'eau. L'eau est située à 33 m de profondeur. En conservant les mêmes caractéristiques que pour les galeries, les calculs montrent une hauteur de remontée de fontis maximale à 47 m. Aucun effondrement localisé n'a été retrouvé au droit de la galerie. La prédiposition de cette galerie vis-à-vis de l'effondrement localisé a été dissociée de la manière suivante :

- sensible au phénomène d'effondrement localisé au droit des parties de la galerie à moins de 30 m de profondeur ;
- très peu sensible à peu sensible au phénomène d'effondrement localisé au droit des parties de la galerie, situées entre 30 et 50 m de profondeur ;
- nulle au-delà de 50 m de profondeur.

17.2.1.3 Prédiposition pour les descenderies pentées ($\geq 30^\circ$)

La descenderie G31, dite de Bézud, la descenderie G147, dite du Collet Rouge et le Skip de Pourraques (G170) ont respectivement une inclinaison de 36°, 40° et 46° tandis que les descenderies G18, G33, G46, G49 et la galerie G173 ont une inclinaison de 30°. Un nouveau calcul en utilisant les mêmes paramètres que pour les galeries et en intégrant l'inclinaison et la longueur des descenderies, permet de constater que la hauteur maximale de remontée de fontis pour les descenderies pentées se situe environ à 50 m de profondeur.

La prédiposition de ces galeries vis-à-vis de l'effondrement localisé a été dissociée de la manière suivante :

- sensible au phénomène d'effondrement localisé au droit des parties de galeries à moins de 30 m de profondeur ;
- très peu sensible à peu sensible au phénomène d'effondrement localisé au droit des parties de galeries, situées entre 30 et 50 m de profondeur ;
- nulle au-delà de 50 m de profondeur.

La prédiposition sera dégradée d'un niveau pour la descenderie de Mazaugues Aval (G33) compte tenu de son traitement par remblayage en tête et son revêtement en béton. La prédiposition passera donc à très peu sensible à peu sensible entre 0 et 50 m de profondeur.

17.2.2 Evaluation de l'intensité

L'intensité du phénomène d'effondrement localisé est définie à partir des dimensions du cratère susceptible d'apparaître au jour. Ce cratère est issu de « l'évasement » d'une colonne vide débouchant en surface. La dimension de la section de cette colonne est directement liée à la largeur de la galerie et la nature des matériaux de surface.

A l'exception du PEX de Rougiers où les galeries sont étroites (1 à 1,5 m de large maximum), tous les galeries et descenderies du secteur étudié ont des sections de plus de 5m² à savoir des largeurs supérieures à 2 m. Certains ouvrages récents présentent des largeurs et hauteurs de plus de 5 m (cas de G174).

Par ailleurs, pour les quatre descenderies traitées par remblayage, les vides résiduels susceptibles d'être présents sont de faibles volumes. Ainsi, en raison du potentiel d'aucomblement accru par ces traitements, l'intensité d'un effondrement sera limitée.

L'épaisseur des terrains non cohésifs et non foisonnant de surface a été retenue à 1 m.

Les désordres associés à des galeries ou des descenderies recensés lors de la phase informative, montrent des diamètres compris entre 2 et 5 m (essentiellement voisin de 3 m).

Compte tenu de ces éléments, il est retenu un niveau d'intensité :

- limité (diamètre < 3 m), pour les galeries et les descenderies peu pentées du PEX de Rougiers et pour les portions des quatre descenderies traitées par remblayage (< 30 m de profondeur) ;
- modéré (diamètre compris entre 3 et 10 m) pour toutes les autres galeries et descenderies.

17.2.2.1 Niveaux d'aléa - Synthèse

La caractérisation de l'aléa lié aux effondrements résulte du croisement de l'intensité prévisible du phénomène avec la prédisposition d'une configuration donnée à ce que ce type de phénomène se produise. Les niveaux retenus sont définis dans le tableau suivant.

Configurations			Prédisposition	Intensité	Aléa
Galeries ou descenderies peu inclinées	Prof. comprise entre 0 et 30 m	Section faible (PEX de Rougiers)	Sensible	Limitée	Faible
	Prof. comprise entre 0 et 30 m	Section moyenne et à grande	Sensible	Modérée	Moyen
Galeries ou descenderies traitées : G54, G24 et G25	Prof. comprise entre 0 et 30 m		Peu sensible	Limitée	Faible
TB de Merlançon (G174)	Prof. comprise entre 0 et 30 m		Sensible	Modérée	Moyen
	Prof. comprise entre 30 et 50 m		Très peu sensible à peu sensible	Modérée	Faible
Descenderies pentées ($\geq 30^\circ$) : G18, G31, G46, G49, G147, G170, G173	Prof. comprise entre 0 et 30 m		Sensible	Modérée	Moyen
	Prof. comprise entre 30 et 50 m		Très peu sensible	Modérée	Faible
Descenderie pentée ($\geq 30^\circ$) et traitée : G33	Prof. comprise entre 0 et 30 m		Peu sensible	Limitée	Faible
	Prof. comprise entre 30 et 50 m		Très peu sensible à peu sensible	Modérée	Faible

Tableau 11 : Grille d'évaluation de l'aléa effondrement localisé sur galeries isolées et descenderies

17.3 Aléa effondrement localisé lié aux zones de travaux souterrains

Au sein d'une exploitation minière en plateure à faiblement pentée, l'effondrement localisé peut également survenir à la suite d'une chute du toit des chantiers d'exploitation (laissés partiellement ou totalement vides) consécutive ou non à la rupture d'un pilier. L'apparition d'un fontis en surface est alors possible dans le cas où ce mécanisme a lieu au niveau de travaux à faible profondeur. L'apparition de ce type de désordre en surface dépend principalement des caractéristiques des travaux et est régi par les mécanismes similaires à ceux détaillés avant (remontée de cloche de fontis, capacité d'auto-comblement, etc.).

Au sein d'une exploitation minière en pentée (en dressant), le phénomène d'effondrement localisé peut présenter deux origines :

- Rupture du pilier couronne : l'effondrement localisé est lié à une exploitation de chantiers poussés trop haut vers la surface (l'affleurement), laissant une hauteur de stot de protection trop faible. Lorsque l'exploitation de la couche de minerai s'est développée trop près de la surface, une rupture peut se développer par cisaillement le long des interfaces minerai – épontes ou encore par éboulement progressif de ce stot (usuellement appelé « couronne ») à un endroit où le minerai se trouve dans un état altéré. On parle alors de rupture du pilier couronne.
- Débouillage des remblais sur une exploitation totale : l'effondrement localisé est lié au coulissage des remblais anciennement déversés au niveau de la tête de chambre débouchant au jour dans un niveau inférieur partiellement ou non remblayé.

17.3.1 Evaluation de la prédisposition

17.3.1.1 Hauteur de remontée

Exploitations en plateure à faiblement pentées

Il est possible qu'un ou plusieurs horizons rocheux, suffisamment épais et résistants pour arrêter une montée de voûte existent au toit de certains secteurs des exploitations mais il est impossible d'en assurer l'existence systématique sans campagne de sondage et essais géotechniques. De plus, l'importante karstification du recouvrement, d'autant plus marquée à faible profondeur, confirme l'hypothèse d'absence de bancs continus susceptibles de bloquer une montée de voûte. Ainsi, des calculs de remontée de voûte ont été établis suivant deux modèles : cylindrique et par rupture de bancs.

Le modèle cylindrique correspond à l'approche volumétrique déjà employée pour les galeries et descenderies. Le modèle de remontée de voûte par ruptures successives de bancs rocheux est plus adapté dans le cas de chantiers d'exploitation larges et surmontés de terrains structurés en bancs tels que rencontrés dans le bassin de Mazaugues. En effet, les bancs se rompent en flexion jusqu'à ce que la portée résiduelle, réduite de bancs en bancs après chaque rupture, ne puisse soutenir le poids des terrains.

Les exploitations accessibles sur le site et les plans retrouvés dans les archives permettent de connaître certaines dimensions de vides au sein des chambres et piliers abandonnés selon les concessions :

- concession de Mazaugues ; hauteur comprise entre 1,5 et 3 m, largeur entre 5 et 6,5 m ;
- concession de Tourves ; hauteur comprise entre 5 et 6,5 m et largeur de l'ordre de 5 m ;
- vieux travaux irréguliers ; peu profonds (< 30 m), hauteur comprise entre 1 et 5 m et largeur ente 1 à 10 m.

Enfin, du fait de l'absence de données précises, l'absence totale de remblayage dans les travaux en chambres et piliers a été retenue. Cette situation représente notamment, l'existence de travaux laissés totalement vides, configuration qui ne peut pas être écartée dans ce contexte.

Les résultats des calculs de remontée de voûte par approche cylindrique (cf. annexe 4) indiquent qu'un fontis initié au sein d'une exploitation par chambres et piliers abandonnés sans rupture initiale d'un pilier peut déboucher au jour si l'épaisseur du recouvrement (hors terrains non cohésifs et non foisonnants de surface) ne dépasse pas 30 m.

En revanche, en cas de chambre large > 5 m ou de rupture de pilier, la hauteur théorique peut atteindre 50 m voir plus de 100 m car, dans ces configurations, le fontis au toit ne peut pas être initié à 80 ou 100 % de largeur de la chambre. Cette valeur conduirait à un volume éboulé de l'ordre de 10 000 m³ bien supérieur au volume disponible au sein de la chambre considérée (5 x 10 x 10 = 500 m³). Ainsi dans ces cas, l'approche cylindrique n'est pas adaptée. Elle peut être maintenue pour les chambres au largeur < 5 m (proches de galeries isolées), où elle limite la remontée de cloche à environ 50 m.

Le modèle de calcul par rupture de bancs nécessite d'estimer le nombre de bancs du toit ou l'épaisseur moyenne des bancs du toit (cf. figure 52) ainsi qu'une valeur de résistance en flexion, R_f. Fautes de données précises et détaillées sur le recouvrement calcaire, la bibliographie géotechnique usuelle compile généralement certaines valeurs de résistances de roches et notamment la résistance en compression simples (R_c), (cf. [12]) :

- pour des calcaires normaux : R_c est comprise entre 10 et 50 MPa ;
- pour des calcaires compacts : R_c est comprise entre 50 et 100 MPa ;

Dans le cas présent, une valeur suffisamment sécuritaire de 50 MPa sera retenue pour les terrains calcaires de recouvrement, réputés résistants.

De plus, différentes relations empiriques ont été vérifiées sur de nombreuses carrières et mines en France, elles permettent de retrouver d'autres paramètres des roches à partir de la valeur R_c :

- la résistance en flexion, R_f, est généralement prise égale à 0,2×R_c ;
- la résistance en traction, R_t, est généralement prise égale à 0,15×R_c.

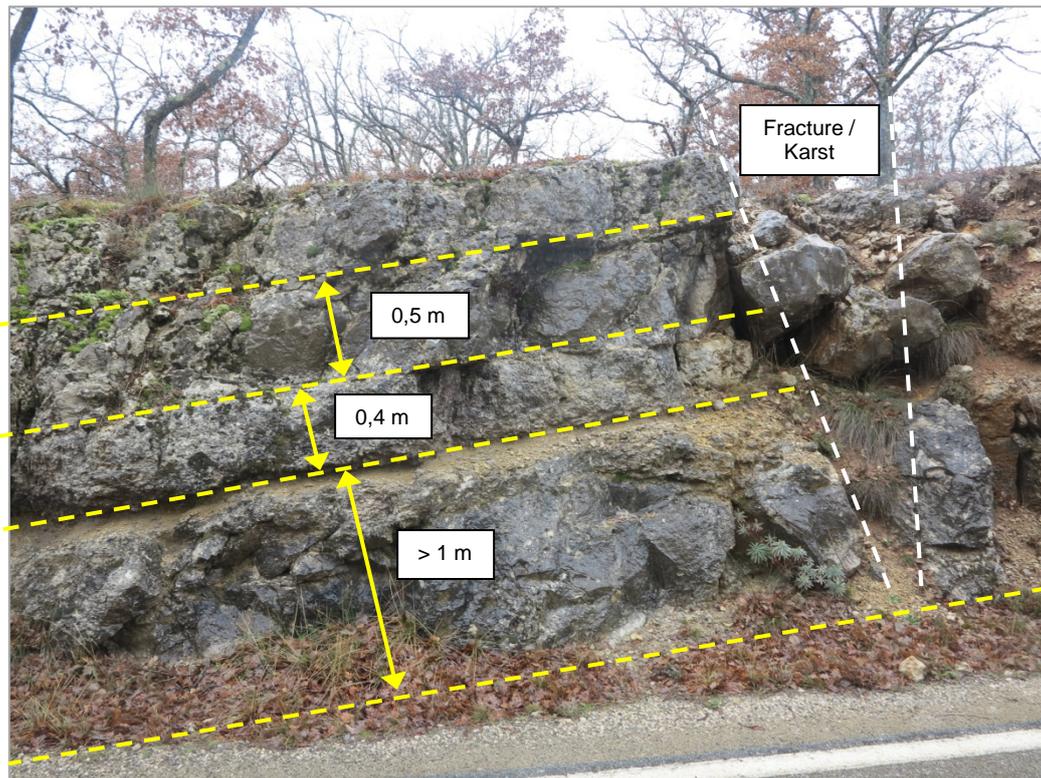


Figure 52 : Stratification et karstification des calcaires coniaciens

Les résultats des calculs de remontée de voûte par le modèle de rupture de bancs (cf. annexe 4) indiquent qu'un fontis peut remonter jusqu'à 20 m en écartant les cas extrêmes où tous les bancs seraient systématiquement minces et/ou les calcaires peu résistants.

D'après l'ensemble de ces résultats, la hauteur de remontée de voûte maximale est comprise entre 20 et 30 m pour les travaux en chambres et piliers abandonnés. Cependant, les observations de terrain montrent que les cratères de fontis ont été observés pour des travaux situés en-deçà de 20 m de profondeur. Les calculs, bien que pris avec des paramètres sécuritaires, ne tiennent pas compte de l'altération et la karstification du recouvrement calcaire, critère qui est ici vraisemblablement dominant dans l'instabilité potentielle du toit et du recouvrement. Pour ces raisons, la valeur de 30 m est retenue. En revanche, il est considéré qu'au-delà de 30 mètres de profondeur, la remontée de fontis à la surface n'est plus envisageable.

Exploitations en dressant

Les travaux du PEX d'Engardin ont été menés en dressant à proximité immédiate ou jusqu'en surface. De nombreux effondrements ont été observés durant l'enquête de terrain. Ces effondrements sont caractéristiques des phénomènes de débouillage de remblais ou rupture de couronne de chambres d'exploitation partiellement ou non remblayées (cf. figure 53). Bien que le traitement des têtes de chambres débouchant au jour (remblayage et remodelage) ait été réalisé dans le cadre de l'arrêt des travaux, les difficultés de contrôle de remblayage dans ce contexte (volume de vide important, travaux irréguliers, méconnaissance des dimensions des vides présents etc.) ne garantissent pas sa bonne qualité laissant ainsi des vides résiduels parfois volumineux. Ceci est d'autant plus valable pour les exploitations totales (foudroyées) menées à proximité de l'affleurement où la déstructuration des chantiers et du recouvrement entraîne une importante capacité à la présence de vides importants.

Le retour d'expérience montre que le mécanisme de rupture de couronne est susceptible de se produire pour une épaisseur maximale de recouvrement de 30 m (cf. [12]). Au-delà, la possibilité d'une rupture de couronne est moins pertinente. A cette profondeur, le mécanisme envisageable est la rupture du toit immédiat des chambres facilité ici par la mauvaise qualité mécanique des terrains se traduisant par son élargissement et la possibilité de remontée d'un fontis jusqu'en surface (cf. figure 54). Ce dernier mécanisme peut être également envisagé dans le cas des exploitations proches de la surface des PEX de Merlançon et des Pourraques où la couche de bauxite présente un pendage moyen (40° à 50°, gisement en semi-dressant).



Figure 53 : Exemples de rupture de couronne et de déboufrage de remblais en tête de chambres observés sur le PEX d'Engardin

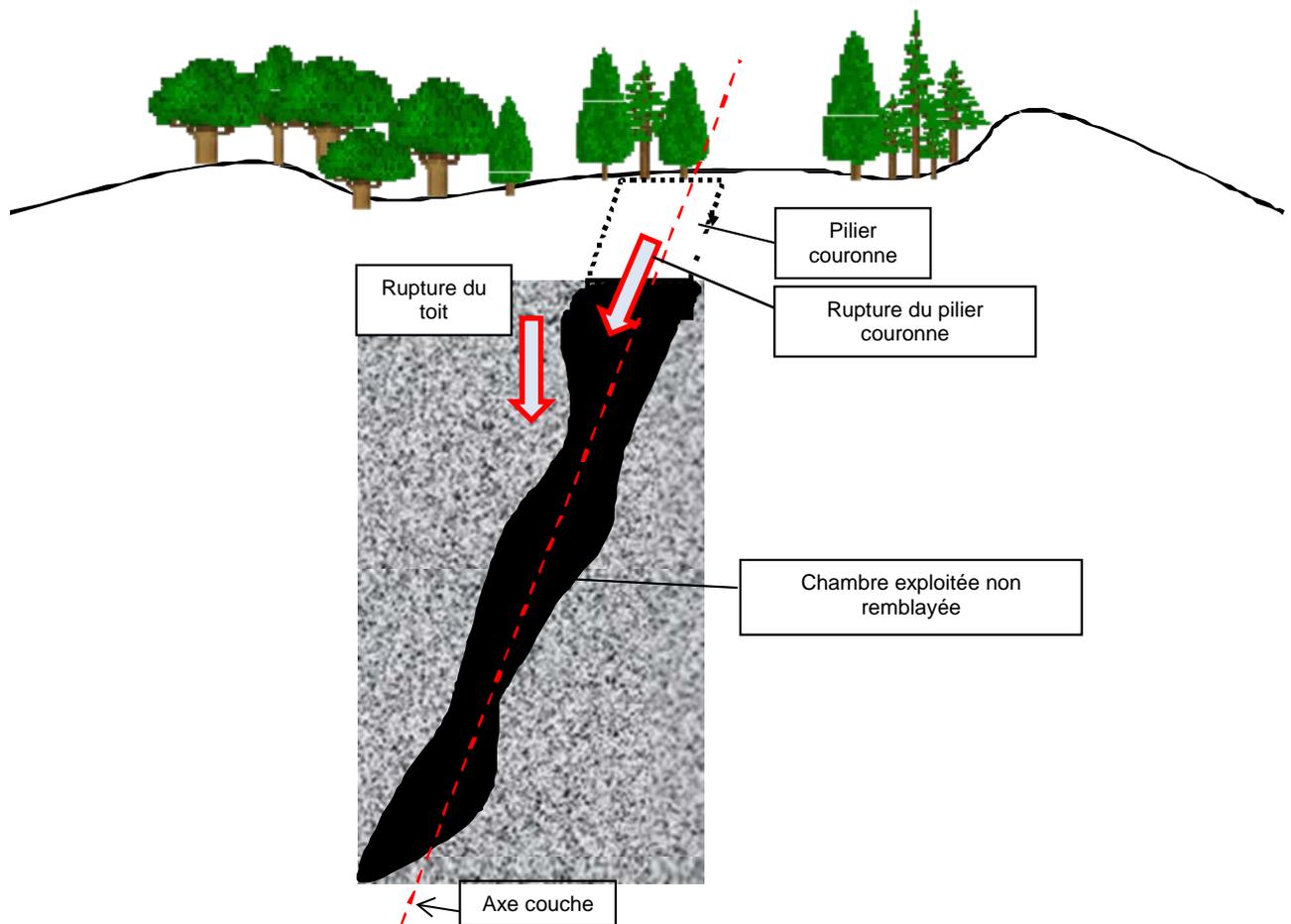


Figure 54 : Schéma d'une exploitation en dressant et mécanismes de rupture

17.3.1.2 Niveaux de prédisposition retenus

a) Prédisposition pour la configuration TRVX1a

Les observations de terrain et les données issues des archives ont révélé que :

- De nombreux effondrements localisés ont été observés à l'aplomb de travaux miniers peu profonds dont la majorité concerne des travaux compris entre 0 et 15 m de profondeur ;
- certains vieux travaux visitables sont en mauvais état, partiellement effondrés, avec des piliers fortement élancés à des profondeurs comprises voisines de 30 m ;
- les terrains sont très fracturés et ont tendance à converger rapidement ;

En considérant ces différents points, la prédisposition des travaux de la configuration TRVX1a vis-à-vis de l'effondrement localisé a été dissociée de la manière suivante :

- très sensible au phénomène d'effondrement localisé au droit des travaux à moins de 15 m de profondeur ;
- sensible au phénomène d'effondrement localisé au droit travaux, situées entre 15 et 30 m de profondeur.

b) Prédisposition pour la configuration TRVX1b

Le retour d'expérience sur les gisements au toit composé de bancs résistants ne permet pas d'exclure la présence de vides résiduels au sein des zones foudroyées à faible profondeur et la capacité d'apparition d'effondrement localisé en surface par « réajustement » des terrains déstructurés. Ainsi, pour les exploitations par foudroyage peu profondes, il est retenu : une prédisposition sensible pour les travaux à moins de 15 m de profondeur et peu sensible pour ceux situés entre 15 et 30 m de profondeur. Au-delà de 30 m de profondeur, la prédisposition est jugée nulle.

c) Prédisposition pour la configuration TRVX2

Pour les zones potentiellement affectées par les travaux miniers, la localisation et/ou la présence des travaux n'est pas connue précisément. Par conséquent, suivant le guide méthodologique (cf. [2]), les niveaux de prédisposition retenus pour les configurations précédentes sont ici dégradés, à savoir : une prédisposition peu sensible retenue pour les parties de ces zones où la couche potentiellement exploitée est située entre 0 et 30 m de profondeur. Comme cette configuration concerne des travaux anciens (petites dimensions, limités en extension et profondeur), il a été considéré une prédisposition nulle au-delà de 30 m de profondeur.

17.3.2 Evaluation de l'intensité

Lors de la phase informative, tous les fontis liés aux travaux d'exploitation ont été observés d'un diamètre inférieur à 10 m dans la zone 0 à 30 m de profondeur. L'intensité des travaux en chambres et piliers vis-à-vis de l'effondrement localisé est donc définie comme modérée au phénomène d'effondrement localisé au droit de ces travaux.

17.3.3 Niveau d'aléa – Synthèse

Par croisement de l'intensité et de la prédisposition, les niveaux d'aléa effondrement localisé sur travaux souterrains sont définis dans le tableau ci-dessous.

Configuration	Critère	Prédisposition	Intensité	Aléa
TRVX1a	Prof. comprise entre 0 et 15 m	Très sensible	Modérée	Fort
	Prof. comprise entre 15 et 30 m	Sensible		Moyen
TRVX1b	Prof. comprise entre 0 et 15 m	Sensible		Moyen
	Prof. comprise entre 15 et 30 m	Peu sensible		Faible
TRVX2	Prof. comprise entre 0 et 30 m	Peu sensible	Faible	

Tableau 12 : Synthèse de l'aléa effondrement localisé sur les travaux d'exploitation

17.4 Aléa « effondrement localisé » lié aux puits

Les effondrements localisés considérés peuvent être associés à deux mécanismes distincts : le débouillage des remblais au sein de la colonne d'un puits (ou d'une cheminée) et la rupture de la tête.

Le débouillage des remblais au sein de la colonne d'un puits

Le remblai mis au sein de la colonne peut évoluer par compaction naturelle, remaniement en présence d'eau, ou encore comblement des vides résiduels de l'ouvrage. En fonction de la vitesse du mouvement, on peut évoquer les termes de tassement, ou de coulissage. Mais le mécanisme le plus brutal est le débouillage soudain du matériau qui migre dans les recettes ou infrastructures connectées au puits et non obturées. La rupture d'anciens planchers peut également conduire au débouillage brutal de remblais sus-jacents.

La rupture de la tête d'un puits

Pour les puits miniers dont la partie sommitale n'est pas remblayée ou a subi un mouvement de matériau de remblai, le phénomène qui peut se produire est la rupture du revêtement ou de la structure de maintien ou de fermeture mise en place en partie sommitale de l'ouvrage.

17.4.1 Evaluation de la prédisposition

L'aléa est évalué sur la base des facteurs de prédisposition et d'intensité présentés ci-après.

Facteurs de prédisposition au débouillage

Les facteurs de prédisposition retenus pour le débouillage sont :

- le manque de contrôle lors du remblayage, qui ne permet pas de savoir si la colonne du puits est réellement comblée sur toute la hauteur ;
- la profondeur du puits et par conséquent la capacité à la présence de vide dans la colonne, qu'il soit déjà présent ou consécutif à un débouillage ;
- le nombre de recettes, c'est-à-dire de galeries communiquant avec la colonne de puits et où, potentiellement, les remblais peuvent migrer. Un nombre élevé de recettes (4 ou 5), sans précision de traitement spécial (obturation) avant le remblayage est un facteur pénalisant ;
- le niveau piézométrique, qui est un facteur aggravant s'il n'est pas stabilisé. En effet, la remontée de l'eau dans la colonne de puits peut faciliter les écoulements de matériau dans les recettes et modifier l'organisation des remblais en déstabilisant des voûtes stables avant l'arrivée de l'eau.

Facteurs de prédisposition à la rupture de tête

Les facteurs de prédisposition retenus pour la rupture de tête de puits sont :

- la nature du revêtement. Un revêtement en bois sera plus sensible qu'un revêtement maçonné ;
- le traitement de la tête de puits. La pose d'un bouchon de béton autoportant constitue une solution pérenne pour éviter une rupture de tête contrairement à la pose d'une dalle en béton.

Analyse

Les données informatives ont permis de recenser 49 puits sur le bassin minier de Mazaugues. Peu d'informations relatives au puits ont été retrouvées dans les archives.

Pour les secteurs au gisement en plateure à faiblement penté, l'essentiel des puits étaient dédiés à l'aérage des travaux souterrains. Ils ne comportent ainsi qu'une recette. Leur profondeur n'excédait que rarement 50 m. Quelques puits de recherche, jugés borgne (sans recette), ont été également identifiés.

Pour les secteurs en dressant, les puits étaient plus dédiés à l'exploitation. Ils étaient plus profonds (jusqu'à 270 m pour le Puits des Pompes (P12) sur le PEX d'Engardin) et pouvaient comporter plusieurs recettes (au nombre de 5 pour le Puits Pelicon (P145) sur le PEX des Pourraques.

A quelques exceptions près liées aux observations de terrain, le confortement des colonnes par maçonnerie ou cuvelage béton n'est pas évoqué dans les archives.

Sur la totalité de ces puits recensés, 15 ont été remblayés mais sans donnée sur le contrôle de remblayage (type de matériau, volume déversé, etc.). 5 sont vides (ouverts ou sous dalle). En ce qui concerne les 29 restants, aucune information précise n'a été retrouvée sur le traitement.

De manière à définir les niveaux de prédisposition à l'effondrement localisé, la première partie du tableau en annexe 9 renseigne l'ensemble des facteurs pour chaque puits. Pour chaque facteur, il est indiqué si ce facteur tend à augmenter (couleur orange à rouge), être neutre (couleur jaune) ou diminuer (couleur vert clair à vert foncé) le niveau de prédisposition.

17.4.2 Evaluation de l'intensité

L'intensité des effondrements localisés est directement liée au diamètre du cône d'effondrement résultant en surface. Ce cratère est issu de « l'évasement » d'une colonne vide. L'intensité de l'effondrement est principalement tributaire de la géométrie et du volume de l'ouvrage et de la nature des terrains de surface.

Remarque :

D'une manière générale, la rupture de la tête de puits peut conduire à des effondrements conséquents si le volume pouvant accepter le matériau éboulé au sein du puits est élevé et si l'épaisseur des terrains meubles ou altérés permettant une extension latérale du phénomène est importante. En revanche, bien que l'épaisseur et la nature de ces terrains jouent un rôle important dans les dimensions de l'entonnoir d'effondrement en surface, le diamètre maximal du désordre et donc le niveau de l'intensité est atténué par le volume de la cheminée de puits, donc fonction de la dimension des puits et surtout de sa profondeur. Ici les puits sont peu profonds (de l'ordre de 20 m) mais suffisamment étroits pour que ce critère n'influe pas sur le niveau d'intensité.

Les facteurs d'intensité retenus sont :

- le diamètre des puits, qui intervient directement dans le diamètre de l'effondrement en surface et donc dans le calcul de l'intensité ;
- la présence de terrains sans cohésion de type sables ou alluvions en surface qui ont un effet aggravant sur les dimensions d'un effondrement en surface. Les observations ont montré que ce type de terrains n'était pas présent sur le site étudié.

Quelques informations (6 puits sur 49) sont disponibles concernant les sections des ouvrages. Les 5 premiers correspondent aux 5 puits d'exploitation de la concession de Tourves. Ils présentent un diamètre de 3 m. Le dernier correspondant au puits d'aéragé de Mazaugues Aval ODJ 7 présente quant à lui un diamètre observé de 1 m. Au vu des rares informations retrouvées sur le dimensionnement des puits, on peut supposer que la plupart des puits du bassin (sans distinction possible entre les puits d'aéragé et d'exploitation) ont des sections qui n'excèdent vraisemblablement pas 4 m de diamètre pour une moyenne de 3 m.

Ainsi, compte tenu de l'épaisseur des terrains peu cohésifs et non foisonnants de surface évaluée à 1 m, l'intensité est évaluée à un niveau modérée est retenu pour les puits d'exploitation (en restant à un diamètre de 5 m maximum).

17.4.3 Evaluation de l'aléa

Par croisement de la prédisposition et de l'intensité, les niveaux d'aléa effondrement localisé retenus pour les puits varient de faible à fort (cf. tableau annexe 5). On retiendra que 3 puits ont été retenus en aléa de niveau fort. Il s'agit des puits vides au revêtement inconnu (sous des dalles dont l'emprise au sol est sous-dimensionnée) de Merlançon (P70) et de Fontlade (P73) situés sur le PEX de Merlançon et le puits profond de Pelicon (P145) comportant 5 recettes situé sur le PEX de Les Pourraques.

18 EVALUATION DE L'ALEA ECROULEMENT ROCHEUX

Un écoulement rocheux est un mouvement de pente soudain au cours duquel des masses rocheuses, plus ou moins volumineuses, se détachent d'une paroi généralement très raide pour aller s'écraser au pied du front. Ce type de phénomène concerne donc essentiellement les fronts de fosses à ciel ouvert creusés dans des massifs de roches dures, avec de forts angles de talus. L'extension du cône d'éboulis dépend de la nature, de la pente des terrains situés en pied de falaise, du volume et de la fracturation du matériau écroulé ainsi que de la cinétique du mouvement à l'origine de la rupture de la masse rocheuse (basculement, glissement...).

Le quartier de la Baume Nord de la concession de Tourves présente une fosse à ciel ouvert avec des fronts très abruptes et fracturés de 15 à 20 m de hauteur. Au pied des fronts, on observe plusieurs blocs de taille variable, allant jusqu'à quelques mètres cube. L'extension du cône d'éboulis ne dépasse pas 15 mètres. La même configuration est visible au niveau du grattage de la descenderie de Callas (concession de Tourves). De plus, les terrains calcaires sont très sensibles à l'eau et rapidement évolutifs (phénomènes de gel/dégel, etc.)

Nous proposons de définir l'aléa « écroulements rocheux » selon le guide méthodologique (cf. [2]) et par :

- une prédisposition sensible : hauteurs de fronts variant de 10 à 20 m, roches calcaires évolutives et discontinuités et chutes de blocs observées ;
- une intensité limitée à modérée : volume de matériau mis en mouvement observé à l'aval des fronts rocheux supérieur à 0,1 m³ mais largement inférieur à 10 m³ ;

L'aléa écoulement rocheux est retenu par conséquent à un niveau moyen sur les fronts concernés.

19 EVALUATION DE L'ALEA GLISSEMENT

Les flancs de dépôts sont toujours susceptibles de se déstabiliser, en fonction de leur hauteur, pente, nature, végétalisation. Dans le cas du secteur étudié, les dépôts répertoriés sont de faible hauteur. Seul le phénomène de glissements superficiels y est envisagé.

Ce phénomène survient généralement à la suite de perturbations des conditions environnementales caractérisant les dépôts ou les versants de découverte, dont les principales sont :

- lorsque aucun système de drainage et d'écoulement maîtrisé des eaux n'est pas mis en œuvre, le ruissellement des eaux le long des flancs peut favoriser l'entraînement des particules ;
- topographie des flancs mal adaptée. Le développement de mouvements superficiels s'observe préférentiellement le long de flancs peu végétalisés, contenant une proportion importante de particules fines. L'existence de grandes surfaces planes faiblement inclinées vers le talus aval ou, à l'inverse, de talus aval trop raides favorisent également le développement de glissements ;
- affaiblissement du pied de talus. Le prélèvement de matériau à la base du talus peut être à l'origine d'une déstabilisation du talus.

Comme détaillé dans la phase informative, 69 dépôts ont été recensés. Pour 38 d'entre eux, il ne s'agit que de plaquages superficiels de hauteur inférieure au mètre et de pente faible. Il n'a pas été retenu d'aléa « glissement » pour ces dépôts car ils ne présentent pas de flancs identifiables.

Pour les 31 autres dépôts, on distingue :

- 9 dépôts présentant une végétalisation partielle, une pente supérieure à 30° et une hauteur allant jusqu'à 5 m (V8, V10, V11, V13, V32, V35, V36, V55 et V69). Il a été observé sur ces dépôts des signes d'érosion, de ruissellement et de ravinement rendant possible des glissements superficiels ;
- 5 dépôts présentant une végétalisation partielle, une pente supérieure à 30°, une hauteur comprise entre 10 et 40 m (V20 et V58 de 10 m de hauteur, V24 de 25 m de hauteur, V26 et V57 de 40 m de hauteur). Il a été observé sur ces dépôts des signes d'érosion, de ruissellement et de ravinement rendant possible des glissements importants ;
- 8 dépôts présentant une végétalisation partielle, une pente comprise entre 10° et 30° et une hauteur d'environ 1 m (V21, V29, V50, V54, V56 et V66) sauf V62 et V63 qui ont une hauteur comprise entre 5 et 20 m. Ils présentent quelques ravines pour certains d'entre eux ;
- 9 dépôts complètement végétalisés ou aux volumes très restreints (V3, V4, V5, V6, V7, V12, V49, V64 et V65) ne présentant aucun signe d'instabilité.

Les glissements superficiels mettent en jeu des volumes de matériaux généralement restreints (de quelques m³ à quelques dizaines de m³). Ils prennent principalement la forme de glissements pelliculaires ou de rigoles de ravinements, parfois profondes, avec pour conséquence l'épandage de matériaux en pied.

Des glissements superficiels observés sur les flancs de plusieurs dépôts sont toujours envisageables dans le futur :

- leurs flancs sont certes végétalisés mais de manière éparse ;
- ils sont constitués d'éléments peu ou pas compactés qui peuvent être remobilisés en surface, par augmentation de la teneur en eau ou par ravinement notamment.

La prédisposition du phénomène de glissement est ainsi estimée comme nulle pour les neuf dépôts complètement végétalisés et/ou volumes très restreints et peu sensible pour tous les flancs des 22 autres dépôts mentionnés ci-dessus. La majorité des dépôts présentent des hauteurs inférieures à 5 mètres, nous retiendrons une intensité très limitée sauf pour les 5 dépôts suivant : V20, V24, V26, V57 et V58. Ayant une hauteur supérieure à 10 m, nous y retiendrons une intensité limitée.

Par croisement de l'intensité et de la prédisposition, le niveau d'aléa « glissement » retenu est faible pour l'ensemble des 22 dépôts concernés par ce phénomène.

20 EVALUATION DE L'ALEA TASSEMENT

Ce phénomène ne concerne que les dépôts de surface. Les stériles d'exploitation, mis en dépôt sous forme de versés, présentent une composition assez hétérogène, tant en terme de nature des matériaux qu'en terme de granulométrie. Leur mise en place, souvent assurée par simple déversement, ne garantit pas une compaction complète des déblais. Les matériaux déversés dans ces ouvrages peuvent subir une compaction liée à des surcharges extérieures, susceptible d'engendrer la formation de tassements en surface (cf. [2]).

Par définition, ce phénomène doit être considéré pour l'ensemble des dépôts recensés.

Les matériaux concernés sont essentiellement à faible granulométrie et leur épaisseur peut être importante (métrique à plurimétrique). Ces matériaux sont naturellement sensibles aux phénomènes de tassement. L'intensité de tels phénomènes reste par définition limitée. En conséquence, un aléa tassement de niveau faible est retenu pour les dépôts aux volumes significatifs. Les dépôts ponctuels de quelques dizaines de mètres cubes ne présentent pas d'aléa.

21 CARTOGRAPHIE DES ALEAS

Le fond utilisé pour le report cartographique est la BD Ortho[®] de l'IGN (prises de vue de 2008), correspondant à la photographie aérienne informatisée, orthorectifiée et géoréférencée de la zone d'étude. On considère généralement une incertitude de 3 m pour l'utilisation de la BD Ortho[®] de l'IGN comme fond topographique.

Les marges d'influence et d'incertitude liées à l'extension de l'aléa, à la précision des levés et des reports cartographiques, telles que définies dans les paragraphes suivants respectivement à chaque aléa, sont intégrées aux zonages figurés sur les cartes d'aléa présentées en annexes.

21.1 Cartographie de l'aléa affaissement

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

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

Pour évaluer l'aire de la cuvette d'affaissement en surface, si l'on considère le plus souvent dans une couche située en plateure (pendage subhorizontal), un angle d'influence (γ) de l'ordre de 20° à 35°, en gisement penté (pendage supérieur à 20°) on est conduit à distinguer trois angles limites qui varient en fonction du pendage :

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

Dans le cas des mines concernées par le phénomène d'affaissement du bassin de Mazaugues, le gisement est considéré en plateure, le pendage étant de l'ordre de 15° maximum (cf. figure 55).

L'analyse du plan cartographiant l'affaissement du quartier de La Baume Sud sur le PEX de Mazaugues (cf. figure 45 § 15.3) montre que l'angle d'influence varie de 20° lorsque le panneau foudroyé est entouré de chambres et piliers exploités (au nord, à l'est et au sud) à une valeur voisine de 0° lorsqu'il est le long du bord ferme (partie non exploitée). Ces angles apparaissent relativement faibles comparativement aux abaques d'affaissement d'autres bassins (ex : bassins houillers du Nord et du Pas-de-Calais (cf. [13]), de Lorraine ou de la Sarre). Ceci est dû à l'épais et massif recouvrement calcaire peu déformable. L'angle retenu est néanmoins pris à 20°, valeur sécuritaire qui tient compte des formations de couches argilo-marneuses ou argilo-sableuses santoniennes au comportement souple, sus-jacentes aux calcaires coniaciens et relativement épaisses au droit des secteurs affaissables retenus.

Pour le zonage de l'aléa, une marge supplémentaire correspondant à l'incertitude globale de localisation des travaux souterrains, celles du géoréférencement du plan et du support cartographique (BD Ortho[®] de l'IGN) est ajoutée.

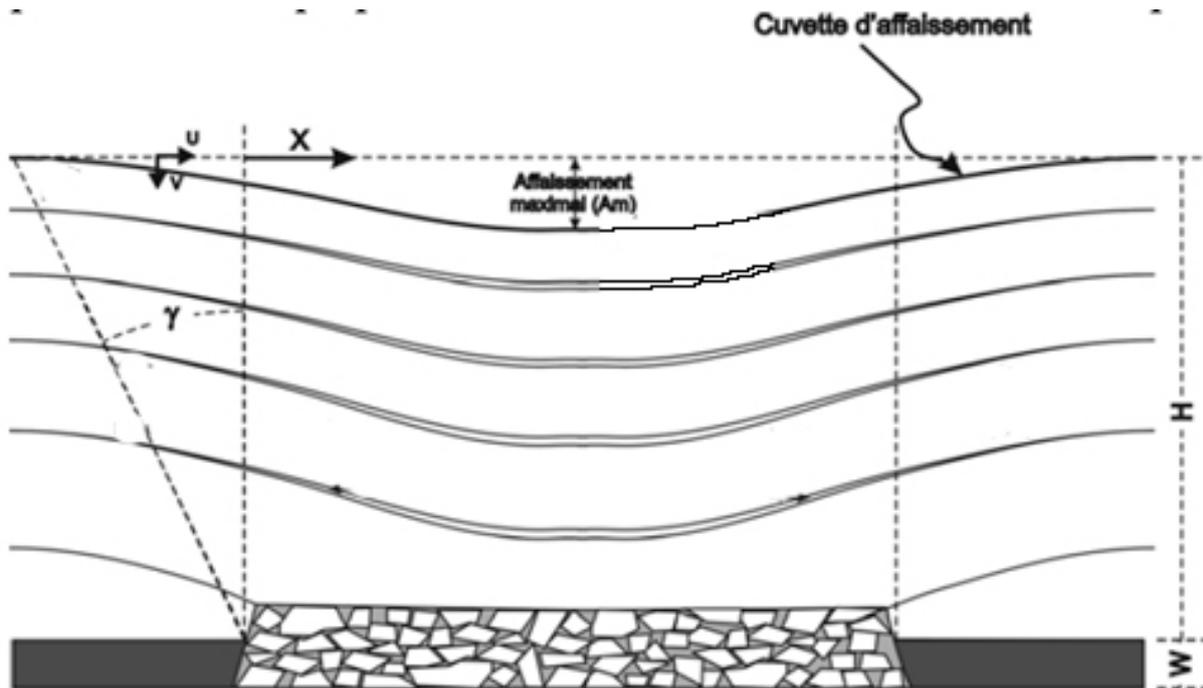


Figure 55 : Représentation schématique d'une cuvette d'affaissement en gisement en plateure

21.2 Cartographie de l'aléa effondrement généralisé

A l'image du zonage de l'aléa affaissement, celui de l'aléa effondrement généralisé comprend :

- La projection verticale en surface de la zone identifiée en souterrain comme étant affecté par ce phénomène (**L**) ;
- Une marge supplémentaire (**E**) relative à l'extension latérale comme illustrée en figure 56. Elle est obtenue par un angle α de 10° maximum relatif au comportement cassant des calcaires coniaciens ($E = \tan 10^\circ / H$, H étant la profondeur) ;
- Une marge supplémentaire (**I**) correspondant à l'incertitude globale de localisation à savoir, celles du géoréférencement du plan et du support cartographique (BD Ortho® de l'IGN).

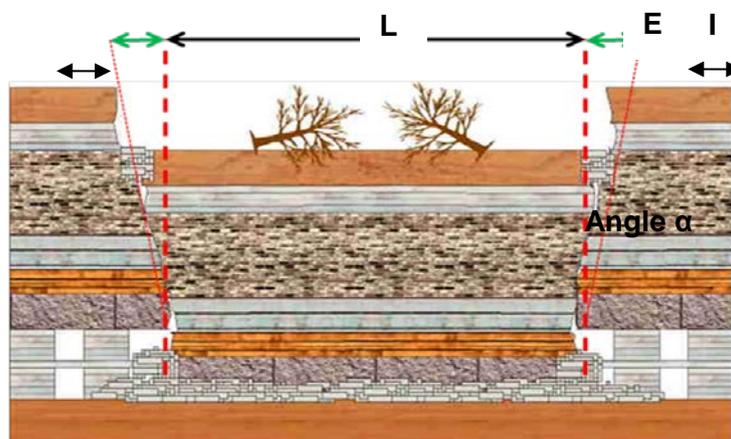


Figure 56 : Zonage de l'aléa effondrement généralisé

21.3 Cartographie de l'aléa effondrement localisé liés aux travaux

Pour les galeries et les descenderies, l'emprise de la zone d'aléa est définie à partir de la localisation et de l'extension de ces ouvrages. La marge retenue pour cartographier l'aléa se décompose comme suit (cf. figure 57) :

- une marge de sécurité ou d'incertitude globale de localisation des galeries qui est issue de celle du plan sur laquelle se trouve cet ouvrage et de celle du fond BD Ortho® IGN. La valeur de cette marge est de 13 à 18 m pour les galeries et descenderies. Pour les entrées de galeries ou descenderies matérialisées, elle est réduite de 5 m (dGPS + report sur BD Ortho® IGN);
- une marge d'influence correspondant à l'extension latérale maximale d'un fontis en surface prise égale à 1 m (épaisseur maximale des terrains superficiels non cohésifs issue des observations de terrain en tenant compte d'un angle de 45°).

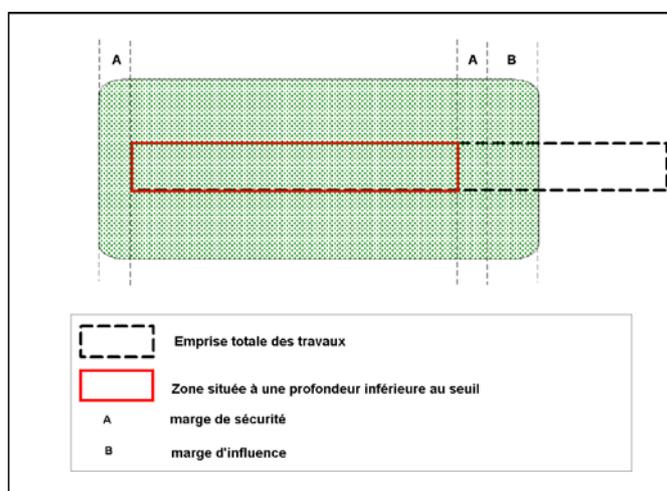


Figure 57 : Zonage de l'aléa effondrement localisé lié à la présence d'une galerie ou d'une descenderie

Pour les travaux souterrains, l'emprise de la zone d'aléa est définie à partir de la localisation et de l'extension des travaux retenus comme instables. La marge retenue pour cartographier l'aléa se décompose comme suit :

- une marge de sécurité ou d'incertitude globale de localisation des galeries qui est issue de celle du plan et de celle du fond BD Ortho® IGN. Pour tous les secteurs concernés, la valeur de cette marge est de 13 à 18 m.
- une marge d'influence relative à l'extension latérale du cône d'effondrement, prise égal à 1 m sur le même principe que pour les galeries isolées.

Pour les zones potentiellement affectées par les travaux miniers, les marges d'incertitudes et d'influences sont comprises dans l'emprise de ces zones. La cartographie de l'aléa correspond à l'emprise exacte de ces zones.

21.4 Cartographie de l'aléa effondrement localisé lié aux puits

Pour les puits, la zone d'aléa est circulaire. Le rayon de la zone d'aléa est défini à partir du centre du puits de la façon suivante (cf. figure 58) :

$$R = R_{\text{puits}} + R_{\text{influence}} + R_{\text{incertitude de localisation}}$$

Avec :

- R_{puits} pris à 1 m lorsque son diamètre n'est pas connu ;
- $R_{\text{influence}}$, relatif à l'extension latérale du cône d'effondrement, pris égal à 1 m sur le même principe que pour les galeries isolées ;
- $R_{\text{incertitude de localisation}}$ défini de la façon suivante : ouvrages matérialisés, identifiés sur plan précis ou sur schémas peu précis : 5 à 33 m (dGPS/calage plan source + report sur BD Ortho® IGN).

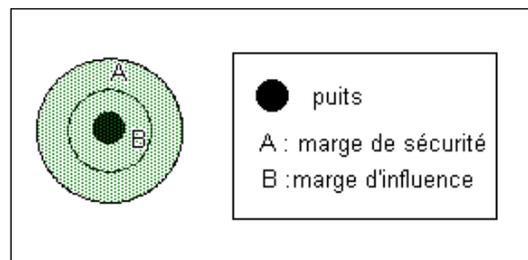


Figure 58 : Zonage de l'aléa effondrement localisé lié aux puits

21.5 Cartographie de l'aléa écroulement

La cartographie de l'aléa « écroulement rocheux » lié aux fronts de taille correspond à une emprise dans la zone d'épandage qui débute de la base du front et qui se prolonge selon une distance H (H étant la hauteur du front), sans marge d'extension latérale. Il en est de même pour la zone amont, la cartographie de cet aléa débute du sommet du front et se prolonge sur une distance H/2, sans marge d'extension latérale.

21.6 Cartographie de l'aléa tassement

Les zones d'aléa relatives aux tassements sur dépôts tiennent compte d'une seule marge. Elle est liée à l'incertitude correspondant à la précision du dGPS ou à la précision de l'observation des frontières des dépôts sur le terrain. Cette incertitude est prise en compte dans le tracé des dépôts. Compte tenu que les tassements se manifestent au droit exact des dépôts, il n'y a pas de marge d'extension latérale pour ces phénomènes.

Ainsi, aucune marge supplémentaire (incertitude ou influence) n'a été ajoutée à l'aléa tassement calé sur l'emprise exacte des dépôts.

21.7 Cartographie de l'aléa glissement

La cartographie de l'aléa concerne l'emprise exacte des verses. Etant donné la faible intensité des désordres potentiels (glissements superficiels) et la hauteur limitée des dépôts concernées par cet aléa, aucune marge d'influence n'a été ajoutée.

Bibliographie

- [1] GEODERIS (2006). Scanning des titres miniers. Région PACA : Identification rapide des zones de risques miniers importants liés à l'instabilité des terrains. Rapport de synthèse N2006/013DE – 06NAT2100.
- [2] INERIS(2006). L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers, Guide méthodologique, Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa, Les risques de mouvements de terrain, d'inondations et d'émissions de gaz de mine. Rapport INERIS DRS-06-51198/R01, 139 p.
- [3] GEODERIS (2009). Inventaire des dépôts issus des exploitations minières selon l'article 20 de la directive 2006/21/CE – Synthèse des résultats. Rapport GEODERIS N2012/009DE–12NAT2120, 28p., 9 ann.
- [4] GEODERIS (2010). Guide pratique pour l'homogénéisation des études détaillées des aléas miniers – volet « effondrement localisé ». Rapport GEODERIS N2012/010DE-12NAT2210, 37p., 5 ann.
- [5] Salmon R. (2009). Annexe technique au guide d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers - Evaluation de l'aléa « effondrement localisé », Rapport INERIS DRS-09-103953-12226A. 23 décembre 2009.
- [6] Evaluation et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minière. Rapport INERIS DRS-07-86090-05803A, 2007.
- [7] Arnaud C. et Guillon JM. (1989). Les Gueules Rouges – Un siècle de bauxite dans le Var. Edition Hémissud
- [8] Mennessier G. (1978). Etude tectonique de l'ancienne mine de bauxite de Pélicon à l'est de Brignoles (Var). Bulletin du BRGM, section 1, n°4, 1978, pp 305-315
- [9] Fine J., 1998. Le Soutènement des galeries minières. Ecole des Mines de Paris, ISBN 2-911762-11-8, juin 1998, 306 p.
- [10] Contribution au développement d'outils d'aide à l'évaluation des aléas dans le cadre des PPRM Aléas « mouvements de terrain » pour les gisements pentés et filoniens – Partie 2 : Typologie des événements redoutés au droit d'exploitations pentées et/ou filoniennes. Rapport INERIS DRS-05-55102/R02, 2005.
- [11] Didier C. et Salmon R. (2004). Evaluation du risque d'apparition d'un fontis en surface. JNGG
- [12] Filliat (1981). La pratique des sols et fondations. Paris, France. Éditions du Moniteur.
- [13] Proust A. (1964). Etude sur les affaissements miniers dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais. R.I.M.

Sites internet

[a] Visualisateur de données Géologiques du BRGM, Infoterre® : <http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>

[b] Visualisateur des photos aériennes de l'IGN, Géoportail® : <http://www.geoportail.gouv.fr/>

ANNEXE 1

Listes des plans miniers

Identifiant	Titre	PEX/Concession	Descriptif	Date	Echelle	Lieu d'archivage	Géoréférencement (O/N)	Points de calage	Incertitude de calage du plan (avec incertitude BD ORTHO®)	Format (scan/photo)
Plan n°1	Mine de Tourves : Ensemble des travaux miniers sur fond cadastral et plan des sondages	TOURVES	Ensemble des travaux miniers sur fond cadastral et plan des sondages	1988	1/5000	Musée de la Bauxite	Non			scan
Plan n°2	Mine de Tourves : Quartier Ouest 1-2 Plan de l'ensemble des travaux miniers dans le cadre sécurité et environnement	TOURVES	Ensemble des travaux miniers des quartiers 1 et 2	1988	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°3	Mine de Tourves : Quartier Est 3-4 Plan de l'ensemble des travaux miniers dans le cadre sécurité et environnement	TOURVES	Ensemble des travaux miniers des quartiers 3 et 4	1988	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°59	L'Escaillon	TOURVES	Ensemble des travaux dits du quartier de l'Escaillon	1939	1/1000	Spéléologues	Oui	DGPS et calculs de coordonnées	10 m	scan
Plan n°4	Mine de Saint-Julien Ensemble des travaux	SAINT-JULIEN	Ensemble des travaux de Saint-Julien	1986	1/1000	Musée de la Bauxite	Non			scan
Plan n°5	Mine de Saint-Julien Plan d'ensemble des travaux miniers sur fond cadastral	SAINT-JULIEN	Ensemble des travaux de Saint-Julien	1986	1/5000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°6	Mine de Saint-Julien Plan des sondages	SAINT-JULIEN	Implantation des sondages sur Saint-Julien	1983	1/5000	Musée de la Bauxite	Non			scan
Plan n°7	Mine de Saint-Julien Plan d'ensemble des travaux miniers sur fond cadastral	SAINT-JULIEN	Localisation des lentilles de bauxite exploitées	1988	1/5000	Musée de la Bauxite	Non			scan

Identifiant	Titre	PEX/Concession	Descriptif	Date	Echelle	Lieu d'archivage	Géoréférencement (O/N)	Points de calage	Incertitude de calage du plan (avec incertitude BD ORTHO®)	Format (scan/photo)
Plan n°8	Mine de Saint-Julien Découvertes Zones A-B-C Plan de remise en état des sols	SAINT-JULIEN	Remise en état des découvertes de Saint-Julien	1985	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	8 m	scan
Plan n°9	Permis d'exploitation de Rougiers Plan des sondages	ROUGIERS	Implantation des sondages sur Rougiers	1990	1/1000	DREAL 83	Non			scan
Plan n°10	Permis d'exploitation de Rougiers Plan des minéralisations	ROUGIERS	Minéralisation de bauxite sur le PEX de Rougiers	1990	1/1000	DREAL 83	Non			scan
Plan n°11	Permis d'exploitation de Rougiers Plan des sondages	ROUGIERS	Gisement du PEX de Rougiers	1972	1/5000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°12	Permis d'exploitation de Rougiers Neutralisation d'anciens travaux	ROUGIERS	Localisation et traitement des vieux ouvrages de Rougiers	1990	1/5000	Musée de la Bauxite	Oui	Limite commune, intersection chemins et rivière	30 m	photo
Plan n°13	Mazaugues Aval Plan du carreau	MAZAUGUES	Traitement de la descenderie principale de Mazaugues Aval	1979	1/250	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud et angles de bâtiments	3 m	scan
Plan n°14	Les Fouilles Plan du carreau	MAZAUGUES	Plan du carreau du quartier des Fouilles	-	1/1000	DREAL 83	Non			photo
Plan n°15	Mazaugues Amont Projet d'exploitation du stot des descenderies	MAZAUGUES	Stot des descenderies des Fouilles	1984	1/500	DREAL 83	Non			photo
Plan n°16	Mazaugues - les Fouilles Ouest Plan des travaux fin d'exploitation	MAZAUGUES	Travaux de fin d'exploitation dans le quartier des Fouilles Ouest	1985	1/1000	Musée de la Bauxite	Non			photo
Plan n°17	Exploitation de Mazaugues Emprise des travaux miniers sur fond cadastral	MAZAUGUES	Localisation des lentilles de bauxite exploitées	1985	1/5000	DREAL 83	Non			scan

Identifiant	Titre	PEX/Concession	Descriptif	Date	Echelle	Lieu d'archivage	Géoréférence ment (O/N)	Points de calage	Incertitude de calage du plan (avec incertitude BD ORTHO®)	Format (scan/photo)
Plan n°18	Mine de Mazaugues Aval Plan de surface Secteur du puits d'aérage lentille 4	MAZAUGUES	Plan de surface du puits d'aérage à l'ouest de la lentille n°4	1984	1/250	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	3 m	scan
Plan n°19	Mazaugues Plan des sondages	MAZAUGUES	Implantation des sondages sur Mazaugues	1983	1/5000	DREAL 83	Non			scan
Plan n°20	Mazaugues La Baume Sud Plan des travaux	MAZAUGUES	Plan des travaux du quartier de la Baume Sud	1971	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	3 m	scan
Plan n°21	Mazaugues Amont Travaux de sécurité et d'environnement	MAZAUGUES	Plan des travaux de Mazaugues Amont Quartiers La Caire, Les 3 Pins, Les Fouilles, Nicollet et Vautruite	1972	1/2000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	10 m >50 m le long du ruisseau Caramy	scan
Plan n°22	Mazaugues Aval Plan d'ensemble des travaux	MAZAUGUES	Plan d'ensemble des travaux de Mazaugues Aval Quartiers des lentilles 1 à 4	1982	1/5000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	15 m	scan
Plan n°23	Domaine de Mazaugues La Baume de Saint Michel Plan des travaux d'aménagement	MAZAUGUES	Plan des travaux de la Baume Saint Michel	1948	1/1000	DREAL 83	Oui	Galerie ravin Caramy	10 à 20 m	scan
Plan n°24	Mazaugues Amont Secteur de la Caire	MAZAUGUES	Décapages à ciel ouvert dans le secteur de la Caire	1975	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	photo
Plan n°25	Mazaugues Amont Decapage de Nicollet	MAZAUGUES	Décapages à ciel ouvert dans le secteur de Nicollet	1969	1/500	Musée de la Bauxite	Non			photo

Identifiant	Titre	PEX/Concession	Descriptif	Date	Echelle	Lieu d'archivage	Géoréférencement (O/N)	Points de calage	Incertitude de calage du plan (avec incertitude BD ORTHO®)	Format (scan/photo)
Plan n°26	Mine de Mazaugues Decapage de Vautruite	MAZAUGUES	<i>Décapages à ciel ouvert dans le secteur de Vautruite</i>	1970	1/500	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	photo
Plan n°27	Mazaugues Aval Lentille n°1 Plan des travaux	MAZAUGUES	<i>Plan des travaux de la lentille n°1</i>	1974	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	15 m	photo
Plan n°28	Mazaugues Aval Lentille n°2 Plan des travaux	MAZAUGUES	<i>Plan des travaux de la lentille n°2</i>	1974	1/500	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	15 m	photo
Plan n°29	Mazaugues Aval Lentille n°3 Plan des travaux	MAZAUGUES	<i>Plan des travaux de la lentille n°3</i>	1975	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	15 m	photo
Plan n°30	Mazaugues Aval Lentille n°4 Plan des travaux	MAZAUGUES	<i>Plan des travaux de la lentille n°4</i>	1984	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	30 m	photo
Plan n°31	Domaine de MazauguesLa Baume Plan des travaux	MAZAUGUES	<i>Plan des vieux travaux de la Baume Nord</i>	1948	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Entrée de galerie et travaux souterrains	10 m Baume Nord 20 m Baume St Michel	photo
Plan n°32	Mine de la Baume Sud Isobathes des zones d'affaissements	MAZAUGUES	<i>Courbes d'affaissement suite au foudroyage à la Baume Sud</i>	-	1/2000	Musée de la Bauxite	Non			photo
Plan n°33	Mine de la Baume Sud Délimitation des différentes méthodes d'exploitation	MAZAUGUES	<i>Délimitation des différentes méthodes d'exploitation à la Baume Sud</i>	-	1/2000	Musée de la Bauxite	Non			photo
Plan n°34	La Baume Sud Plan du carreau	MAZAUGUES	<i>Plan du carreau de la Baume Sud</i>	1963	1/500	Musée de la Bauxite	Non			photo

Identifiant	Titre	PEX/Concession	Descriptif	Date	Echelle	Lieu d'archivage	Géoréférencement (O/N)	Points de calage	Incertitude de calage du plan (avec incertitude BD ORTHO®)	Format (scan/photo)
Plan n°54	Mazaugues Aval Plan d'ensemble des travaux	MAZAUGUES	Plan d'ensemble des travaux de Mazaugues Aval Quartiers des lentilles 1 à 4	-	1/5000	INERIS	Oui	inconnus	10 m	scan
Plan n°60	Plan de la Baume	MAZAUGUES	Plan d'ensemble avec les vieux travaux de la Baume Nord	1941	1/1000	CIRKA	Oui	Skip, Puits n°2, rivière et angle de route	10 m	scan
Plan n°61	Mine de la Caire	MAZAUGUES	Plan d'ensemble des vieux travaux de la Caire	1922	1/500	CIRKA	Oui	Contours de chantiers d'exploitation	15 m	scan
Plan n°62	Mine de la Caire, Plan des travaux	MAZAUGUES	Plan des travaux du quartier de la Caire en 1942	1942	1/1000	CIRKA	Oui	Entrées de galerie, barrage	10 m	scan
Plan n°63	Exploitation de Bauxites Mine de la Caire Commune de Mazaugues	MAZAUGUES	Plan des premiers travaux du quartier de la Caire	1908	-	CIRKA	Oui	Puits D, E	15 m	scan
Plan n°67	Mazaugues La Caire-Les 3 Pins-Les Fouilles Plan des travaux	MAZAUGUES	Plan d'ensemble des travaux de Mazaugues Amont en 1965	1965	1/2000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud		scan
Plan n°68	Mazaugues Amont Les Fouilles Ouesr Plan des travaux	MAZAUGUES	Plan du quartier des Fouilles Ouesr	1985	1/500	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°35	Exploitation d'Engardin Emprise des travaux miniers sur fond cadastral	ENGARDIN	Affleurement de Bauxite à Engardin	1987	1/5000	DREAL 83	Non			scan
Plan n°36	Mine d'Engardin Plan du carreau	ENGARDIN	Plan du carreau d'Engardin	1971	1/250	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°37	Mine d'Engardin Situation des travaux sur fond parcellaire	ENGARDIN	Plan d'ensemble des travaux d'Engardin (avec cadastre)	1987	1/5000	DREAL 83	Non			scan

Identifiant	Titre	PEX/Concession	Descriptif	Date	Echelle	Lieu d'archivage	Géoréférencement (O/N)	Points de calage	Incertitude de calage du plan (avec incertitude BD ORTHO®)	Format (scan/photo)
Plan n°38	Engardin Plan d'ensemble des travaux	ENGARDIN	Plan d'ensemble des travaux d'Engardin (sans cadastre)	1987	1/5000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	10 m 20 m secteur Forge	scan
Plan n°39	Mine d'Engardin Quartier de la Forge	ENGARDIN	Plan des travaux du quartier de la Forge	1987	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°40	Mine d'Engardin Vieux travaux Ouest, quartier de la Forge	ENGARDIN	Plan des travaux du quartier de la Forge	-	1/1000	Musée de la Bauxite	Non			photo
Plan n°41	Mine d'Engardin Quartier de Pin Ouest et Pin Est	ENGARDIN	Plan des travaux des quartiers de Pin Ouest et Pin Est	1987	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	10 m	scan
Plan n°42	Mine d'Engardin Quartier de Pin Ouest et Pin Est	ENGARDIN	Plan des travaux à ciel ouvert dans le quartier du Pin	1987	1/1000	Musée de la Bauxite	Non			photo
Plan n°43	Engardin Plan des sondages	ENGARDIN	Implantation des sondages sur Engardin	1984	1/5000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	15 m 35 m secteur NE	scan
Plan n°44	Mine d'Engardin Quartiers Nord-Ouest Sud-Ouest Sud-Est	ENGARDIN	Plan des travaux des quartiers Nord-Ouest Sud-Ouest Sud-Est	1987	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	10 m	scan
Plan n°45	Mine d'Engardin Aval du quartier Sud-Ouest	ENGARDIN	Plan des travaux aval du quartier Sud-Ouest	1987	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	10 m	scan
Plan n°46	Mine d'Engardin Quartier du Trebuquet Est	ENGARDIN	Plan des travaux du quartier du Trebuquet Est	1987	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°47	Mine d'Engardin Quartier du Panneau Est	ENGARDIN	Plan des travaux du quartier du Panneau Est	-	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	10 m	photo

Identifiant	Titre	PEX/Concession	Descriptif	Date	Echelle	Lieu d'archivage	Géoréférencement (O/N)	Points de calage	Incertitude de calage du plan (avec incertitude BD ORTHO®)	Format (scan/photo)
Plan n°48	Travaux du Trebuquet Courbes du toit	ENGARDIN	<i>Courbes des cotes du toit de la Bauxite dans le quartier du Trebuquet</i>	-	-	Musée de la Bauxite	Non			photo
Plan n°49	Mine d'Engardin Le Trebuquet Niveau 346 - Affleurement	ENGARDIN	<i>Plan des travaux du Trebuquet I</i>	1980	1/250	Musée de la Bauxite	Non			photo
Plan n°50	Mine d'Engardin Le Trebuquet II Remblayage des travaux miniers	ENGARDIN	<i>Remblayage des travaux du Trebuquet II</i>	1979	1/250	Musée de la Bauxite	Non			photo
Plan n°51	Mine de Merlançon Plan des travaux	MERLANCON	<i>Plan et coupe des travaux miniers de Merlançon</i>	1972	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Intersections de routes/sentiers	10 m	photo
Plan n°52	-	MERLANCON	<i>Plan des travaux de Merlançon, quartier de Fontlade</i>	-	-	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud et puits Fontlade	10 m	photo
Plan n°52	-	MERLANCON	<i>Plan des travaux de Merlançon, quartier de Fontlade</i>	-	-	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	10 m	photo
Plan n°52	-	MERLANCON	<i>Plan des travaux de Merlançon, quartier de Fontlade</i>	-	-	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud et puits Merlançon	10 m	photo
Plan n°52	-	MERLANCON	<i>Plan des travaux de Merlançon, quartier de Fontlade</i>	-	-	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud et puits Merlançon	10 m	photo
Plan n°53	Mine de la Rouge	MERLANCON	<i>Plan des travaux de Merlançon Quartier de la Rouge</i>	-	-	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	20 m	photo

Identifiant	Titre	PEX/Concession	Descriptif	Date	Echelle	Lieu d'archivage	Géoréférencement (O/N)	Points de calage	Incertitude de calage du plan (avec incertitude BD ORTHO®)	Format (scan/photo)
Plan n°66	Mine de la Rouge	MERLANCON	Plan des travaux de Merlançon Quartier de la Rouge	-	-	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°69	C.E.V.B Découverte de la Rouge Ensemble des travaux	MERLANCON	Plan de surface de la découverte de la Rouge	1976	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°70	Plan des travaux de Merlançon-Fontlade-La Rouge	MERLANCON	Plan d'ensemble des travaux de Merlançon	1977	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°71	Plan des travaux de Merlançon-Fontlade-La Rouge	MERLANCON	Plan d'ensemble des travaux de Merlançon	1964	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	10 m	scan
Plan n°55	Mine de Pelicon - Plan de surface	POURRAQUES	Plan du carreau de la mine de Pelicon	1966	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	10 m	photo
Plan n°56	Mine de Pelicon - Plan des travaux	POURRAQUES	Plan d'ensemble des travaux de la mine de Pelicon	1966	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	10 m (20 m à l'est)	photo
Plan n°57	Secteur de Pelicon - Le Collet Rouge	POURRAQUES	Plan des travaux dits du Collet Rouge	1975	1/1000	Musée de la Bauxite	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	photo
Plan n°58	-	POURRAQUES	Plan général des travaux de Pelicon et Merlançon	-	-	Musée de la Bauxite	Non			photo
Plan n°64	Mine de Pelicon Plan de surface	POURRAQUES	Plan de surface de la mine de Pelicon	1946	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	5 m	scan
Plan n°65	Mine de Pelicon Plan des travaux - voies principales	POURRAQUES	Plan des travaux du fond réalisés par Pechiney après BdF	1966	1/1000	DREAL 83	Oui	Croix Lambert III Sud	5 à 10 m	scan
Plan n°72	Plan de la mine du Collet Rouge de Brignoles	POURRAQUES	Vieux travaux du Collet Rouge	1939	1/500	DREAL 13	Oui	Trémie et calculs de coordonnées	10 m	photo

ANNEXE 2

Liste et caractéristiques des ouvrages débouchant au jour

Titre minier	N°Id	Nom	Type	X (RGF93)	Y (RGF93)	Z (m)	Matérialisation	Source position	Incertitude de localisation	Rôle	Forme	Diamètre / Largeur	Longueur	Hauteur	Profondeur	Direction	Etat tête	Etat corps	Revêtement	Observations
Rougiers	G79	Galerie n°79	Galerie	930699.23	6255879.94	575	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	1.5	NR	1.6	30	N180° Inclinaison 20°	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Vieux travaux (en mauvais état) accessibles mais noyés au bout d'une trentaines de mètres.
Rougiers	G80	Galerie n°80	Galerie	930724.65	6255886.75	573	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	G81	Galerie n°81	Galerie	930808.27	6255927.14	570	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	G82	Galerie n°82	Galerie	930877.37	6255949.61	564	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	G83	Galerie n°83	Galerie	930953.05	6255981.6	560	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Rougiers	G84	Galerie n°84	Galerie	930989.35	6255995.56	557	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	G85	Galerie n°85	Galerie	931036.1	6256017.57	555	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	P86	Puits n°86	Puits	931232.5	6256077.93	545	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	20	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Cet ouvrage correspond certainement à un ancien puits de recherche. En surface, du minerai est visible au droit de sa position supposée.
Rougiers	P87	Puits n°87	Puits	931320.66	6256098.92	542	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	20	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Rougiers	G88	Galerie n°88	Galerie	930817.35	6255930.55	567	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	G89	Galerie n°89	Galerie	930772.07	6255900.82	572	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	G90	Galerie n°90	Galerie	930892.34	6255954.6	563	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Rectangulaire	1.6	NR	1.1	20	N165	Ouverte	Remblayée	Aucun	Galerie (probablement de recherche). Le toit est en très mauvais état sur les 20 m visibles.
Rougiers	G91	Galerie n°91	Galerie	931495.96	6256159.28	532	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Rougiers	G92	Galerie n°92	Galerie	931527.16	6256160.08	529	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Ouverte	Effondrée ; Aucun traitement	Aucun	Galerie en mauvais état et effondrée au bout de quelques mètres.
Rougiers	G93	Galerie n°93	Galerie	931616.23	6256204.78	525	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Rougiers	G94	Galerie n°94	Galerie	931797.88	6256306.33	520	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Rougiers	P99	Puits n°99	Puits	931678.18	6256200.13	522	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	20	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Rougiers	P100	Puits n°100	Puits	931405.76	6256159.06	537	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	20	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Rougiers	P101	Puits n°101	Puits	931400.88	6256135.12	537	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	20	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Rougiers	P102	Puits n°102	Puits	931357.88	6256152.93	541	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	20	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Rougiers	G158	Galerie n°158	Galerie	930842.88	6255941.44	568	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N160	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	G159	Galerie n°159	Galerie	930852.41	6255941.78	565	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N160	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	G160	Galerie n°160	Galerie	930976.53	6255990.45	558	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N160	Eboulé	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.

Titre minier	N°Id	Nom	Type	X (RGF93)	Y (RGF93)	Z (m)	Matérialisation	Source position	Incertitude de localisation	Rôle	Forme	Diamètre / Largeur	Longueur	Hauteur	Profondeur	Direction	Etat tête	Etat corps	Revêtement	Observations
Rougiers	G161	Galerie n°161	Galerie	931452.05	6256144.65	532	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	3.2	N160	Ouverte	Effondrée ; Aucun traitement	Aucun	Effondrée au bout de 3 m
Rougiers	G162	Galerie n°162	Galerie	931686.01	6256245.17	523	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	11	N235	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Petite galerie ouverte le long de la falaise sur une dizaines de mètres.
Rougiers	G163	Galerie n°163	Galerie	931715.62	6256257.99	522	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	Sans objet	N160	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Petite galerie ouverte sur une dizaines de mètres.
Rougiers	G164	Galerie n°164	Galerie	931722.2	6256263.67	522	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N210	Eboulé	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	G165	Galerie n°165	Galerie	931707.79	6256254.7	518	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N160	Eboulée	Inconnue ; Aucun traitement	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Rougiers	G166	Galerie n°166	Galerie	931739.9	6256267.07	521	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	6.8	N160	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Petite galerie ouverte sur 6.80 m de longueur.
Rougiers	G167	Galerie n°167	Galerie	931747.62	6256270.36	521	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	6.3	N160	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Petite galerie ouverte sur 6.30 m de longueur.
Rougiers	G168	Galerie n°168	Galerie	931760.21	6256279.44	519	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	1.6	20	N150	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Galerie donnant directement accès à d'anciens travaux miniers peu étendus en bon état.
Rougiers	G169	Galerie n°169	Galerie	930756.3	6255894.58	572	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N160	Eboulée	Inconnue ; Aucun traitement	Inconnu	Petite galerie effondrée.
Tourves	P1	Puits Tourtin-Audibert	Puits	933980.31	6256456.1	418	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Aérage	Rectangulaire	2	NR	3	46	Sans objet	Remblayée	Remblayée	Inconnu	La position exacte du puits n'a pas été retrouvée cependant un dépôt de bauxite est bien visible à proximité de sa position supposée. Le puits a été remblayée sur toute sa hauteur mais n'est plus visible aujourd'hui.
Tourves	P2	Puits I	Puits	934604	6256492.52	407	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aérage	Circulaire	2.5	NR	NR	40	Sans objet	Dallée	Vide ; Aucun traitement	Cuvelage béton	Puits ayant servi à l'aérage et au matériel pour la mine de Tourves. les conduites sont toujours en place et de l'eau est visible au fond. Un regard dans la dalle en béton armée (3.50 de côté) permet d'entrevoir le cuvelage en béton du puits.
Tourves	P3	Puits n°3	Puits	934709.86	6256454.06	402	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Aérage	Inconnu	NR	NR	NR	35	Sans objet	Remblayée	Remblayée	Inconnu	Puits remblayé et non visible.
Tourves	P4	Puits II	Puits	935217.15	6256438.51	390	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aérage	Circulaire	3.2	NR	NR	40	Sans objet	Dépression	Remblayée	Cuvelage béton	Puits II à l'origine entièrement remblayé. Un débouillage des remblais a mis au jour 3.80 m du cuvelage béton du puits
Tourves	P5	Puits Callas 1	Puits	935382.01	6256759.49	403	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Rectangulaire	NR	NR	NR	8	Sans objet	Ouvert	Vide ; Aucun traitement	Cuvelage pierre	Puits recoupant la bauxite à 8 m de profondeur
Tourves	P6	Puits UB	Puits	935797.39	6256448.16	385	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aérage	Circulaire	2.8	NR	NR	45	Sans objet	Dépression	Remblayée	Cuvelage pierre	Le puits est entièrement remblayé par des matériaux très divers et celui-ci a débouillé sur 1.50m laissant entrevoir le rebord circulaire en briques.
Tourves	G14	Descenderie Plan n°8	Descenderie	934513.69	6256792.62	421	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Vouté	NR	NR	NR	Sans objet	N240	Remblayée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	La galerie est fermé par un mur en béton armé et son orifice a été remblayé. Aucune trace de la galerie n'est visible en surface mais elle est accessible par le fond.
Tourves	G15	Descenderie du trainage mécanique	Descenderie	934742.77	6256765.96	415	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	4	NR	3	3	N165 Inclinaison 10°	Bouchon	Vide ; Aucun traitement	Inconnu	Descenderie du trainage mécanique fermé par un bouchon en béton armée de 1,2 m.
Tourves	G16	Descenderie Callas	Descenderie	935531.33	6256636.05	380	Non ; Non retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	2.5	NR	3	3	N180	Bouchon	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Descenderie Callas fermée par un bouchon en béton armée de 5 m de longueur puis talutée.
Tourves	G17	Descenderie n°17	Descenderie	935634.23	6256754.61	400	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N170	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	La zone a été restructurée et talutée, l'ouvrage a certainement été recoupé et remblayé.
Tourves	G18	Descenderie n°18	Descenderie	935396.87	6256051.84	370	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N095 Inclinaison 30°	Talutée	Remblayée	Inconnu	Entrée de la descenderie remblayée sur quelques mètre puis talutée et matérialisée par un plot béton.
Tourves	G19	Descenderie n°19	Descenderie	935079.41	6256143.97	374	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exhaure	Inconnu	4.6	NR	3	Sans objet	N340 Inclinaison 15°	Bouchon	Vide ; Aucun traitement	Inconnu	Entrée de la descenderie obturée par un bouchon en béton armé puis talutée et matérialisée par un plot béton.

Titre minier	N°Id	Nom	Type	X (RGF93)	Y (RGF93)	Z (m)	Matérialisation	Source position	Incertitude de localisation	Rôle	Forme	Diamètre / Largeur	Longueur	Hauteur	Profondeur	Direction	Etat tête	Etat corps	Revêtement	Observations
Tourves	G20	Descenderie n°20	Descenderie	935310.19	6256748.94	400	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	2.4	0	3.4	60	N175 Inclinaison 15°	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Descenderie ouverte et noyée à 60 m environ de l'entrée. La descenderie recoupe un karst avec de nombreuses venues d'eau.
Tourves	G21	Galerie n°21	Galerie	935399.71	6256821.56	402	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N175	Remblayée	Vide ; Aucun traitement	Inconnu	Vieille entrée de galerie non retrouvée. Son orifice est très certainement remblayé.
Tourves	G22	Galerie n°22	Galerie	935477.09	6256803.29	400	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	Sans objet	N245	Eboulé	Effondrée ; Aucun traitement	Inconnu	Entrée éboulée et non retrouvée.
Tourves	G23	Galerie n°23	Galerie	935490.82	6256803.63	405	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N175	Remblayée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Entrée de la galerie remblayée sur plusieurs mètres. Mauvais état géotechnique observé par l'intermédiaire d'un fontis apparu au delà du remblais
Tourves	G95	Galerie n°95	Galerie	932834.8	6256549.02	457	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne entrée très probable. Un petit dépôt est visible à sa sortie le long de la pente.
Tourves	G96	Galerie n°96	Galerie	932853.41	6256554.81	460	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie effondrée, visible à flanc de falaise. Un dépôt est visible depuis le chemin longeant la vallée.
Tourves	P97	Puits n°97	Puits	931939.59	6256265.14	508	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	15	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Tourves	P98	Puits n°98	Puits	931867.77	6256289.76	520	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	10	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Tourves	P103	Puits n°103	Puits	932829.02	6256358.86	447	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	40	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Tourves	P104	Puits n°104	Puits	932666.31	6256490.82	475	Non ; Non retrouvé	Autre	30	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	10	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Tourves	P105	Puits Konler	Puits	934371.98	6256561.16	418	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Aéragé / Exploitation	Rectangulaire	2	NR	3	40	Sans objet	Remblayée	Remblayée	Inconnu	Puits remblayé par du tout venant mais non retrouvé.
Tourves	P108	Puits Callas 2	Puits	935472.89	6256794.44	400	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	10	Sans objet	Dépression	Remblayée	Inconnu	Une dépression est visible au droit du puits (2 x 2.70m). Celui-ci a débouillé sur 0.50 m environ. Sa profondeur est inconnue mais ne dépasse pas 10 m. Il est à proximité immédiate d'un effondrement non stabilisé et toujours en évolution.
Tourves	P110	Puits de la Baume Nord n°2	Puits	936063.91	6256500.46	383	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	Sans objet	Dépression	Remblayée	Inconnu	Une dépression est visible au droit de la position supposée du puits.
Tourves	P111	Puits n°111	Puits	935656.81	6256735.89	400	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	15	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	La zone a été restructurée et talutée, l'ouvrage a certainement été recoupé et remblayé.
Tourves	P115	Puits n°115	Puits	934345.54	6256670.54	424.12	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aéragé	Rectangulaire	2	NR	1.8	35	Sans objet	Dépression	Remblayée	Cuvelage béton	Puits d'aéragé remblayé mais ayant débouillé sur 1.20 m laissant entrevoir le cuvelage rectangulaire (1.80 x 2.00 m) en béton.
Tourves	G121	Galerie n°121	Galerie	935388.82	6256829.84	402	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	2	N180	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Celle-ci donne accès aux vieux travaux souterrains toujours ouverts et visitables.
Tourves	G122	Galerie n°122	Galerie	935347.06	6256834.15	402	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	1.5	NR	1.3	20	N120	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Galerie donnant directement dans les vieux travaux.
Tourves	G123	Galerie n°123	Galerie	935150.21	6256829.05	410	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	4	NR	1.4	Sans objet	N230	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Entrée qui desservait de vieux travaux
Tourves	G124	Galerie n°124	Galerie	935121.16	6256833.81	411	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	Sans objet	N230	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Entrée qui desservait de vieux travaux
Tourves	G125	Galerie n°125	Galerie	935329.93	6256822.47	402	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; Aucun traitement	Inconnu	Entrée de galerie accédant aux vieux travaux éboulée.
Tourves	G126	Descenderie UB	Descenderie	934429.62	6256845.04	430	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N180	Remblayée	Inconnue ; Aucun traitement	Aucun	L'orifice de la galerie a été remblayé. Aucune trace de l'ouvrage n'est visible en surface.

Titre minier	N°Id	Nom	Type	X (RGF93)	Y (RGF93)	Z (m)	Matérialisation	Source position	Incertitude de localisation	Rôle	Forme	Diamètre / Largeur	Longueur	Hauteur	Profondeur	Direction	Etat tête	Etat corps	Revêtement	Observations
Tourves	G127	Galerie n°127	Galerie	936325.33	6256714.68	390	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N220	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie non visible. Il est possible qu'elle ai été recoupée par les travaux du décapage de la Baume Nord.
Tourves	G128	Galerie n°128	Galerie	935797.62	6256765.51	395	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N190	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie non visible. Il est possible qu'elle ai été recoupée par les travaux du décapage de la Baume Nord en plus d'avoir été restructuré et taluté.
Tourves	G129	Galerie n°129	Galerie	935818.38	6256744.29	395	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N200	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie non visible. Il est possible qu'elle ai été recoupée par les travaux du décapage de la Baume Nord en plus d'avoir été restructuré et taluté.
Tourves	G130	Galerie n°130	Galerie	935824.17	6256732.94	395	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N250	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie non visible. Il est possible qu'elle ai été recoupée par les travaux du décapage de la Baume Nord en plus d'avoir été restructuré et taluté.
Tourves	G131	Galerie n°131	Galerie	935831.54	6256733.29	395	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N190	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie non visible. Il est possible qu'elle ai été recoupée par les travaux du décapage de la Baume Nord en plus d'avoir été restructuré et taluté.
Tourves	G132	Descenderie n°132	Descenderie	935627.31	6256747.24	400	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N170	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	La zone a été restructurée et talutée, l'ouvrage a certainement été recoupé et remblayé.
Tourves	G177	Galerie n°177	Galerie	936486.9	6256660.22	380	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N200	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Tourves	G178	Galerie n°178	Galerie	936592.3	6256662.71	380	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N175	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Tourves	G179	Galerie n°179	Galerie	936654.14	6256671.56	378	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N180	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Tourves	G180	Galerie n°180	Galerie	936685	6256672.58	378	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N180	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Tourves	G181	Galerie n°181	Galerie	936730.72	6256642.63	375	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N245	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Tourves	P182	Puits de la Baume Nord n°1	Puits	935967.58	6256553.56	382.6	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	35	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; Remblayé	Inconnu	
Tourves	G183	Descenderie Plan Carle	Descenderie	934030.57	6256830.18	440	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N200	Inconnue	Inconnue ; Aucun traitement	Aucun	
Tourves	P184	Puits n°184	Puits	933661.14	6256270.36	415	Non ; Non recherché	Autre	10	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	50	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Cet ouvrage est très probablement un puits de recherche isolé.
Tourves	P185	Puits n°185	Puits	933479.94	6256437.72	425	Non ; Non recherché	Autre	10	Aéragé	Inconnu	NR	NR	NR	40	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Bien que les cotes ne soient pas présente, le puits d'aéragé doit probablement faire une cinquantaine de mètres de profondeur.
Tourves	G186	Descenderie n°186	Descenderie	933536.22	6256748.37	447	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N170	Inconnue	Inconnue ; Aucun traitement	Aucun	
Tourves	G187	Descenderie n°187	Descenderie	933435.81	6256652.73	437	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N170	Inconnue	Inconnue ; Aucun traitement	Aucun	
Mazaugues	P7	Puits d'aéragé Mazaugues Aval	Puits	937281.35	6255689.67	367.23	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aéragé	Circulaire	3.25	NR	NR	122.2	Inclinaison 90°	Dallée	Vide ; Aucun traitement	Cuvelage béton	Le puits d'aéragé est toujours équipé et bien visible. Un regard a travers la dalle béton (3,8 m de coté) permet d'apercevoir la colonne de puits.
Mazaugues	P8	Puits D	Puits	937470.72	6256575.91	395	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Aéragé	Rectangulaire	2	NR	2	14	Sans objet	Remblayée	Remblayée	Inconnu	Ancien puits d'aéragé. Aucune trace en surface.
Mazaugues	G24	Descenderie A	Descenderie	936423.36	6256211.59	369.38	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N110 Inclinaison 27°	Talutée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Descenderie A utilisée pour l'extraction du minerai. L'orifice de la descenderie a très certainement été remblayé sur plusieurs mètres puis talutée.
Mazaugues	G25	Descenderie D	Descenderie	936656.18	6255816.86	358.75	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	4	NR	4	Sans objet	N220 Inclinaison 28°	Accumulation	Inconnue ; traitement inconnu	Cuvelage béton	Descenderie D utilisée pour l'acheminement du personnel et du matériel.

Titre minier	N°Id	Nom	Type	X (RGF93)	Y (RGF93)	Z (m)	Matérialisation	Source position	Incertitude de localisation	Rôle	Forme	Diamètre / Largeur	Longueur	Hauteur	Profondeur	Direction	Etat tête	Etat corps	Revêtement	Observations
Mazaugues	G26	Descenderie des 3 Pins	Descenderie	937994.57	6256602.69	405	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N190	Bouchon	Vide ; Aucun traitement	Inconnu	Descenderie traitée par bouchon béton de 15 m puis talutée. Ouvrage matérialisée par un plot en béton.
Mazaugues	G27	Galerie n°27	Galerie	938100.09	6256602.46	405	Non ; Non retrouvé	Autre	15	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N195	Remblayée	Vide ; Aucun traitement	Inconnu	Ancienne galerie accédant à des vieux travaux proches de l'affleurement. Celle-ci a été remblayée sur 15 m pour en condamner l'accès.
Mazaugues	G28	Descenderie n°28	Descenderie	938580.14	6256625.16	409	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	3.7	NR	3.5	3.5	N170	Remblayée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Entrée de la descenderie remblayée sur plusieurs mètres puis talutée. Un plot en béton matérialise aujourd'hui son emplacement. Cet ouvrage est accessible depuis le fond en accédant via les effondrements à proximité.
Mazaugues	G29	Descenderie n°29	Descenderie	938526.7	6256610.63	409	Non ; Non retrouvé	Autre	15	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Entrée de descenderie remblayée sur 15 m. L'ouvrage n'est plus visible aujourd'hui.
Mazaugues	G30	Descenderie n°30	Descenderie	938549.85	6256617.78	409	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	3.8	NR	3.5	3.5	N175	Remblayée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	L'entrée de la descenderie est remblayée.
Mazaugues	G31	Descenderie de Bezud	Descenderie	938680.33	6256004.64	377.38	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N175 Inclinaison 36°	Remblayée	Vide ; Aucun traitement	Inconnu	La tête de descenderie a été remblayée. Un plot en béton matérialise aujourd'hui son emplacement. Cette descenderie permettait d'accéder aux trvx des Fouilles et de Mazaugues Aval, en plus de l'aérage.
Mazaugues	G33	Descenderie de Mazaugues Aval	Descenderie	938190.52	6255710.54	385	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Vouté	NR	NR	NR	Sans objet	N150 Inclinaison 29.8°	Remblayée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Dernière descenderie en activité de Mazaugues. L'ouvrage est fermé par un remblayage intérieur de 30 m. L'orifice a été taluté, c'est pourquoi en surface seul sa direction est encore suggérée.
Mazaugues	G34	Galerie n°34	Galerie	937308.81	6256629.24	384	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	Sans objet	N180 Inclinaison 0°	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Galerie accédant directement aux vieux travaux de la Caïre.
Mazaugues	G36	Galerie n°36	Galerie	937448.03	6256650.12	392	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	Sans objet	N180	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Galerie accédant directement au vieux travaux de la Caïre.
Mazaugues	G37	Galerie n°37	Galerie	937255.03	6256607.8	380	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Rectangulaire	NR	NR	NR	Sans objet	N140	Ouverte	Remblayée	Aucun	Galerie accédant aux vieux travaux de la Caïre. Galerie non visitée (faute de temps) lors de la visite de terrain.
Mazaugues	G38	Galerie Nord	Galerie	936978.87	6256356.82	345	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Rectangulaire	2.5	NR	2.6	120	N280	Grille	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Galerie Nord fermée à l'entrée par une grille (porte à 2 batants). Elle est en liaison avec la Galerie Sud par plusieurs recoupes.
Mazaugues	G39	Galerie Sud	Galerie	936978.87	6256344.79	346	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Rectangulaire	2.5	NR	2.6	120	N290	Murée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Galerie Sud fermée en tête par un mur en béton de 1 m d'épaisseur. Elle est néanmoins accessible par la Galerie Nord en liaison par plusieurs recoupes successives.
Mazaugues	G40	Galerie n°40	Galerie	937077.92	6256467.9	360	Non ; Non retrouvé	Autre	20	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Travers-banc accédant à la mine des Fouilles, remblayé en tête et non retrouvé lors de la visite.
Mazaugues	G41	Descenderie de la Caïre	Descenderie	937464.48	6256646.83	392	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	3	NR	3.2	10	N178	Dépression	Remblayée	Boisage métal	Descenderie de la Caïre initialement remblayée en tête. Une dépression est visible par laquelle il est possible d'accéder à la descenderie sur une dizaine de mètres (remblayée ensuite). La descenderie reste accessible à partir des vieux travaux qui la recou
Mazaugues	G42	Galerie n°42	Galerie	938753.85	6256669.52	415	Non ; Non retrouvé	Autre	15	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne entrée accédant à des vieux travaux engendrant de nombreux désordres en surface. L'orifice de l'entrée a été remblayée.
Mazaugues	G43	Descenderie Nicollet Ouest	Descenderie	939360.42	6256792.28	427	Non ; Non retrouvé	Autre	15	Exploitation	Rectangulaire	2.5	NR	3	3	N165	Remblayée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Entrée de galerie remblayée sur quelques mètres. A l'origine (antérieur au décapage), l'ouvrage se situait 37 m à l'amont pendage.
Mazaugues	G44	Descenderie Nicollet Est	Descenderie	939369.61	6256794.44	427	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	2.5	NR	3	3	N165	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	A l'origine (antérieur au décapage) l'orifice se situait 37 m à l'amont pendage
Mazaugues	G45	Galerie n°45	Galerie	939646.57	6257059.49	456	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Entrée de galerie non retrouvée. Travaux de Vautruite en très mauvais état.

Titre minier	N°Id	Nom	Type	X (RGF93)	Y (RGF93)	Z (m)	Matérialisation	Source position	Incertitude de localisation	Rôle	Forme	Diamètre / Largeur	Longueur	Hauteur	Profondeur	Direction	Etat tête	Etat corps	Revêtement	Observations
Mazaugues	G106	Galerie d'exhaure de la Baume Nord	Galerie	936820.02	6256666.57	325	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exhaure	Vouté	NR	NR	NR	30	N230	Grille	Vide ; Aucun traitement	Cuvelage pierre	Galerie d'exhaure fermé par une porte grillagée en fonte soudée
Mazaugues	G109	Galerie n°109	Galerie	937048.64	6256405.04	330	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exhaure	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N140	Murée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Galerie d'exhaure des Fouille murée en tête (béton armé sur 1 m d'épaisseur). Deux tuyaux d'exhaure sont toujours en place. L'ouvrage a été retrouvé lors de la visite mais sans pouvoir prendre de points au DGPS.
Mazaugues	G112	Galerie n°112	Galerie	937070.31	6256365.55	355	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N095	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Vieille gaelrie de recherche remblayée en tête. Non retrouvée lors de la visite.
Mazaugues	G113	Galerie n°113	Galerie	937083.82	6256374.97	360	Non ; Non retrouvé	Autre	20	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Vieille gaelrie de recherche remblayée en tête. Non retrouvée lors de la visite.
Mazaugues	G114	Galerie n°114	Galerie	937089.83	6256576.82	375	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Rectangulaire	2.5	NR	2	2	N090	Eboulée	Effondrée ; Foudroyé	Inconnu	Ancienne galerie de recherche détruite par des tirs de mines et remblayage.
Mazaugues	G120	Galerie n°120	Galerie	939601.64	6257050.52	457	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	0	18	N160	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Entrée de galerie dans les vieux travaux de Vautruite. Travaux en très mauvais état géotechnique.
Mazaugues	G133	Galerie n°133	Galerie	937088.58	6256569.56	375	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Rectangulaire	2.5	NR	2	2	N090	Eboulée	Effondrée ; Foudroyé	Inconnu	Ancienne galerie de recherche détruite par des tirs de mines et remblayage.
Mazaugues	G134	Galerie n°134	Galerie	938822.38	6256673.49	415	Non ; Non retrouvé	Autre	15	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne entrée accédant à des vieux travaux ayant occasionné de nombreux désordres en surface. L'orifice de l'entrée a été remblayée
Mazaugues	G135	Galerie n°135	Galerie	938856.42	6256671.11	415	Non ; Non retrouvé	Autre	15	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne entrée accédant à des vieux travaux ayant occasionné de nombreux désordres en surface. L'orifice de l'entrée a été remblayée
Mazaugues	G136	Galerie n°136	Galerie	938896.82	6256668.72	415	Non ; Non retrouvé	Autre	15	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne entrée accédant à des vieux travaux ayant occasionné de nombreux désordres en surface. L'orifice de l'entrée a été remblayée
Mazaugues	G137	Galerie n°137	Galerie	938916.44	6256656.7	415	Non ; Non retrouvé	Autre	15	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne entrée accédant à des vieux travaux ayant occasionné de nombreux désordres en surface. L'orifice de l'entrée a été remblayée
Mazaugues	G138	Galerie n°138	Galerie	939653.15	6257056.65	456	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Entrée de galerie non retrouvée. Travaux de Vautruite en très mauvais état géotechnique.
Mazaugues	G170	Descenderie Skip	Descenderie	936157.4	6256287.84	370	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	3.5	NR	NR	Sans objet	N360 Inclinaison 46°	Accumulation	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Le skip n'est visible en surface que par des petits rebords en béton dépassant du sol (difficilement visible). Celui-ci est néanmoins accessible par le fond. Ouvrage utilisé pour sortir le minerai à l'époque de l'exploitation de la Baume N. Descenderie fermée en tête par enrochements.
Mazaugues	P74	Puits E	Puits	937384.49	6256615.85	390	Non ; Non recherché	Autre	15	Aérage	Rectangulaire	NR	NR	NR	14	Sans objet	Remblayée	Remblayée	Inconnu	Ancien puits d'aérage. Aucune trace en surface.
Mazaugues	P75	Puits F	Puits	937263.31	6256610.75	385	Non ; Non recherché	Autre	15	Aérage	Rectangulaire	NR	NR	NR	3	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancien puits d'aérage peu profond et très probablement remblayé ou effondré.
Mazaugues	P76	Puits A	Puits	937467.54	6256624.59	395	Non ; Non recherché	Autre	15	Aérage	Rectangulaire	NR	NR	NR	11	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancien puits d'aérage peu profond et très probablement remblayé ou effondré.
Mazaugues	P175	Puits B	Puits	937505.1	6256622.21	395	Non ; Non recherché	Autre	15	Aérage	Rectangulaire	NR	NR	NR	6	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancien puits d'aérage peu profond et très probablement remblayé ou effondré.
Mazaugues	G176	Galerie n°176	Galerie	937091.87	6256512.26	361.4	Non ; Non recherché	Autre	10	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Vieille gaelrie de recherche.
Mazaugues	G35	Galerie n°35	Galerie	937363.5	6256645.12	390	Non ; Non retrouvé	Autre	15	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N160	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Aucune trace de la galerie très certainement remblayée
Saint-Julien	P9	Puits n°9	Puits	940666.92	6257632.35	342.4	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Aérage	Rectangulaire	2	NR	3	23	Sans objet	Remblayée	Remblayée	Aucun	Puits d'aérage remblayé mais non retrouvé en surface.
Saint-Julien	P10	Puits n°10	Puits	940823.73	6257787.23	336.44	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Aérage	Inconnu	NR	NR	NR	17	Sans objet	Remblayée	Remblayée	Inconnu	Cheminée d'aérage non retrouvée.

Titre minier	N°Id	Nom	Type	X (RGF93)	Y (RGF93)	Z (m)	Matérialisation	Source position	Incertitude de localisation	Rôle	Forme	Diamètre / Largeur	Longueur	Hauteur	Profondeur	Direction	Etat tête	Etat corps	Revêtement	Observations
Saint-Julien	P11	Puits d'aéragé de Vautruite	Puits	940564.24	6257265.19	332	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aéragé	Circulaire	1.4	NR	NR	55	Sans objet	Dallée	Remblayée	Aucun	Ancien puits d'aéragé de Vautruite. La dalle du puits est encore facilement visible au sol.
Saint-Julien	G46	Descenderie de Vautruite	Descenderie	940268.45	6257211.86	371	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	Sans objet	N325 Inclinaison 30°	Murée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Un plot en béton indique l'emplacement de la descenderie. Ouvrage traité par un mur en béton armé de 1 m d'épaisseur
Saint-Julien	G47	Descenderie de secours	Descenderie	940611.78	6257257.82	324	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aéragé	Inconnu	3	NR	2.5	2.5	N270 Inclinaison 17°	Murée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Descenderie de secours et d'aéragé, un plot indique son emplacement.
Saint-Julien	G48	Plan n°1	Descenderie	940679.75	6257407.58	333	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Vouté	2.6	NR	2.8	2.8	N240 Inclinaison 17°	Murée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Un plot en béton indique l'emplacement de la galerie. Descenderie d'extraction fermée à 10 m de l'entrée par un mur en béton armé
Saint-Julien	G49	Descenderie n°49	Descenderie	941077.66	6257824.67	296	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	52	NR	2	20	N295 Inclinaison 30°	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Descenderie raccordant à l'entrée principale. Celle-ci est murée à 20 m de l'entrée. Le corps de l'ouvrage est en mauvais état géotechnique, très fracturé et partiellement effondré.
Saint-Julien	G50	Galerie n°50	Galerie	941043.39	6257870.51	307	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Vouté	2.3	NR	2	16	N200	Ouverte	Effondrée ; Aucun traitement	Aucun	Ancienne entrée aux vieux travaux toujours ouverte mais effondrée à 16 m de l'orifice.
Saint-Julien	G51	Galerie n°51	Galerie	940581.94	6257573.46	327	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet		Accumulation	Inconnue ; Remblayé	Inconnu	Entrée aux vieux travaux remblayée lors du comblement du décapage.
Saint-Julien	G52	Galerie n°52	Galerie	940596.13	6257585.15	331	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N120	Accumulation	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Entrée aux vieux travaux remblayée lors du comblement du décapage.
Saint-Julien	G53	Galerie n°53	Galerie	940614.73	6257684.2	356	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	NR	Sans objet	N140	Accumulation	Vide ; traitement inconnu	Inconnu	Entrée aux vieux travaux remblayée lors du comblement du décapage.
Saint-Julien	G54	Galerie n°54	Galerie	941092.52	6257864.04	292	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Vouté	2.7	NR	2.8	2.8	N235	Murée	Remblayée	Inconnu	Principale descenderie d'exploitation des lentilles 1, 2 et 3 de Saint-Julien. La galerie a été comblée sur 50 m (béton) puis bouchée en tête
Saint-Julien	P55	Puits n°55	Puits	940558.91	6257571.08	335	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	10	Sans objet	Accumulation	Remblayée	Inconnu	Puits (peu profond <10 m) accédant aux vieux travaux remblayée lors du comblement du décapage.
Saint-Julien	G116	Galerie n°116	Galerie	941044.64	6257871.87	304	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Vouté	2.3	NR	1.5	10	N120	Ouverte	Effondrée ; Aucun traitement	Aucun	Ancienne entrée aux vieux travaux toujours ouverte mais effondrée à 10 m de l'orifice.
Saint-Julien	P117	Puits n°117	Puits	940756.56	6257718.24	337.24	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Aéragé	Inconnu	NR	NR	NR	10	Sans objet	Remblayée	Remblayée	Inconnu	Cheminée d'aéragé non retrouvée.
Saint-Julien	P118	Puits n°118	Puits	940265.61	6257304.11	378	Non ; Non recherché	Autre	10	Aéragé	Inconnu	NR	NR	NR	27	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Cheminée non recherchée car ajoutée ultérieurement.
Saint-Julien	G139	Poudrière de St-Julien	Galerie	941069.71	6257872.32	297	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	1.8	NR	1.8	45	N230	Murée	Vide ; Aucun traitement	Cuvelage béton	Poudrière de Saint-Julien fermée en tête par un mur en béton. Un trou est visible en amont de celui-ci et permet d'accéder à l'ensemble de l'ouvrage en bon état. La liaison avec les vieux travaux n'est plus possible (mur en béton).
Saint-Julien	G188	Galerie n°188	Galerie	939821.52	6257220.6	440	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N050	Inconnue	Inconnue ; Aucun traitement	Inconnu	Entrée dans des travaux à faible profondeur. De nombreux fontis sont présents dans ce secteurs.
Engardin	P12	Puits des pompes	Puits	942711.84	6257980.22	382	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exhaure	Inconnu	NR	NR	NR	270	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Puits non retrouvé.
Engardin	P13	Puits des Ourettes	Puits	944126.13	6258642.61	421	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aéragé	Inconnu	NR	NR	NR	13	Sans objet	Dépression	Remblayée	Inconnu	Le puits d'aéragé a été remblayé cependant une dépression certainement due à un débouillage permet de matérialiser son emplacement.
Engardin	G56	Galerie n°56	Galerie	942109.02	6258350.79	304	Non ; Non retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Dépression	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	L'entrée n'est visible que par une petite dépression dans laquelle un trou (0.5 m de diam) permet d'apercevoir l'orifice de la galerie.
Engardin	G57	Galerie n°57	Galerie	942112.54	6258385.05	318	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie accédant aux vieux travaux de la Forge. Une petite dépression (effondrement en amont du remblai) est visible au niveau du front de taille.

Titre minier	N°Id	Nom	Type	X (RGF93)	Y (RGF93)	Z (m)	Matérialisation	Source position	Incertitude de localisation	Rôle	Forme	Diamètre / Largeur	Longueur	Hauteur	Profondeur	Direction	Etat tête	Etat corps	Revêtement	Observations
Engardin	G58	Galerie n°58	Galerie	942108.68	6258378.36	318	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie accédant aux vieux travaux de la Forge.
Engardin	G59	Descenderie n°59	Descenderie	943061.87	6258510.32	350	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N195	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Descenderie non retrouvée.
Engardin	G60	Descenderie n°60	Descenderie	943226.39	6258449.05	355	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N170	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Descenderie non retrouvée.
Engardin	G61	Descenderie n°61	Descenderie	943462.27	6258517.01	385	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N180	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Descenderie non retrouvée.
Engardin	G62	Galerie n°62	Galerie	944363.5	6258621.96	404	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Vouté	1.8	NR	2	45	N002	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Galerie de recherche.
Engardin	G63	Galerie n°63	Galerie	944835.04	6258726.57	435	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aéragé	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N350	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Une tranchée est visible le long de la pente. Néanmoins aucune entrée n'est visible, l'orifice est très certainement remblayé.
Engardin	G64	Galerie n°64	Galerie	944626.73	6258683.68	425	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Aéragé	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Entrée de galerie non retrouvée.
Engardin	G65	Galerie n°65	Galerie	944009.16	6258583.16	396	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aéragé	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N340	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Une tranchée est visible le long de la pente. Néanmoins aucune entrée n'est visible, l'orifice est très certainement remblayé.
Engardin	G66	Galerie n°66	Galerie	945588.08	6258748.13	385	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Entrée de galerie aux travaux de la Combe Ouest non retrouvée.
Engardin	G67	Galerie n°67	Galerie	945622.24	6258733.38	375	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Entrée de galerie aux travaux de la Combe Ouest non retrouvée.
Engardin	G68	Galerie n°68	Galerie	945635.28	6258729.75	370	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Entrée de galerie aux travaux de la Combe Ouest non retrouvée.
Engardin	G69	Galerie n°69	Galerie	946114.32	6258790.11	325	Non ; Non recherché	Autre	10	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N255	Remblayée	Remblayée	Inconnu	Ancienne galerie de recherche non recherchée par faute de temps. Celle-ci a été remblayée en 1984.
Engardin	G107	Galerie n°107	Galerie	942041.06	6258356.24	295	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Vouté	2.5	NR	2	Sans objet	NR	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Entrée du travers-banc d'extraction principal du quartier des Forges. L'entrée a été obturée par écroulement et remblayage.
Engardin	G119	Galerie n°119	Galerie	944063.05	6258599.5	403	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Aéragé	Vouté	2	NR	2	23	N005	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	L'entrée de la galerie est partiellement remblayée et permet d'accéder aux travaux souterrains. Ceux-ci sont entièrement remblayés et ont un pendage selon la couche de l'ordre de 45°S.
Engardin	G140	Galerie n°140	Galerie	942109.02	6258374.16	318	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie accédant aux vieux travaux de la Forge.
Engardin	G141	Galerie n°141	Galerie	942119.23	6258390.39	324	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie accédant aux vieux travaux de la Forge.
Engardin	G142	Galerie n°142	Galerie	942121.5	6258394.7	324	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie accédant aux vieux travaux de la Forge.
Engardin	G143	Galerie n°143	Galerie	942104.03	6258334.79	301	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie accédant aux vieux travaux de la Forge.
Engardin	G144	Galerie n°144	Galerie	942103.23	6258328.89	301	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N090	Remblayée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie accédant aux vieux travaux de la Forge.
Engardin	G156	Travers-banc d'Engardin	Galerie	943587.08	6260080.05	240	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Vouté	3	NR	2.5	2.5	N170	Murée	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Travers-banc principal d'exploitation de la mine d'Engardin accédant directement à l'ancien carreau minier. Entrée murée en béton armé.
Engardin	G171	Galerie n°171	Galerie	945653.89	6258712.73	366	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Recherche	Vouté	1.4	NR	1.6	8.5	N078	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Galerie creusée au rocher sur 8.50 m sans déboucher dans les travaux. Un mur était présent à l'entrée. Il pouvait s'agir d'une poudrière.

Titre minier	N°Id	Nom	Type	X (RGF93)	Y (RGF93)	Z (m)	Matérialisation	Source position	Incertitude de localisation	Rôle	Forme	Diamètre / Largeur	Longueur	Hauteur	Profondeur	Direction	Etat tête	Etat corps	Revêtement	Observations
Engardin	G172	Galerie n°172	Galerie	945653.78	6258722.83	362	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N190	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Accès aux vieux travaux de la Combe Ouest éboulée.
Les Pourraques	G77	Galerie n°77	Galerie	951215.2	6260572.93	249	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	1.7	NR	0.8	105	N180	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Travers-banc ouverte sur 105 m puis fermé par un effondrement. Celui-ci devait probablement rejoindre les travaux miniers au niveau des décapages.
Les Pourraques	P145	Puits de Pelicon	Puits	950864.94	6260147.68	267.83	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	212	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Puits principal de Pélicon. Le puits n'est plus visible en surface bien qu'une station de pompage soit présente au droit de l'ancien carreau minier.
Les Pourraques	G146	Galerie n°1	Descenderie	950403.27	6260361.44	247.5	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N215	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Les Pourraques	G147	Descenderie du Collet Rouge	Descenderie	950257.02	6260336.25	276	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	1.4	NR	3	60	N125 Inclinaison 40°	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Descenderie toujours ouverte et en bon état. L'ouvrage est ennoyé au bout de 60 m.
Les Pourraques	P148	Puits n°148	Puits	950313.07	6260368.47	285	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	10	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petit puits d'exploitation très peu profond (<10m)
Les Pourraques	P149	Puits n°149	Puits	950357.88	6260367.9	273	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	10	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petit puits d'exploitation très peu profond (<10m)
Les Pourraques	P150	Puits n°150	Puits	950272.45	6260343.17	285	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	10	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Petit puits d'exploitation très peu profond (<10m)
Les Pourraques	P151	Puits n°151	Puits	950275.17	6260340.33	285	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	15	Sans objet	Inconnue	Remblayée ; Remblayé	Inconnu	Petit puits d'exploitation très peu profond (<10m). Le remblai qui a permis de combler l'ouvrage est visible au fond en accédant par la descenderie.
Les Pourraques	G152	Galerie n°2	Galerie	950383.98	6260364.16	256	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Les Pourraques	G153	Descenderie n°153	Descenderie	950458.07	6260357.24	257	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Les Pourraques	G154	Galerie n°154	Galerie	950534.66	6260341.35	257	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	NR	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Les Pourraques	P155	Puits n°155	Puits	950816.61	6260398.77	257.94	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Recherche	Inconnu	NR	NR	NR	20	Sans objet	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Vieux puits de recherche dont aucune archives ne précisent s'il était relié à des travaux souterrains. Aucune trace en surface.
Les Pourraques	G173	Galerie n°173	Galerie	950287.54	6260351.79	274	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	NR	NR	0.8	10	N162 Inclinaison 30°	Ouverte	Effondrée ; Aucun traitement	Aucun	Ancienne galerie en mauvais état et partie éboulée au bout d'une dizaine de mètres. Celle-ci accédait très certainement aux vieux travaux.
Les Pourraques	P189	Remonte n°2	Puits	950351.98	6260362.12	268.8	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Rectangulaire	1	NR	1	13	Inclinaison 45°	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Vieux puits pour la remonte du minerai et l'aérage. Celui-ci est d'abord vertical (sur 4 m environ) puis oblique (45°) pour atteindre le niveau 256.
Les Pourraques	P190	Remonte n°1	Puits	950377.06	6260363.25	262.5	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Rectangulaire	1	NR	1	10	Inclinaison 45°	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Vieux puits pour la remonte du minerai et l'aérage. Celui-ci est d'abord vertical (sur 2 m environ) puis oblique (45°) pour atteindre le niveau 256.
Merlançon	P70	Puits de Merlançon	Puits	951701.15	6260471.49	268.77	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Circulaire	NR	NR	NR	72	Sans objet	Dallée	Vide ; Aucun traitement	Inconnu	Puits de Merlançon fermé en tête par une dalle carré en béton armé (3.1x3.6m). Un regard permet d'entrevoir la colonne de puits. Celui-ci est en partie ennoyé.
Merlançon	G71	Descenderie n°71	Descenderie	951721.58	6260482.61	270	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N225	Eboulée	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	
Merlançon	G72	Travers-banc de Pélicon	Galerie	952359.91	6260527.32	270.12	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Rectangulaire	2.1	NR	NR	12	N185	Ouverte	Remblayée	Aucun	Ancien travers-banc rejoignant les travaux en mauvais état. Celui-ci n'est ouvert que sur une douzaines de mètres puis il est effondré.
Merlançon	P73	Puits de Fontlade	Puits	952545.08	6260481.82	280.96	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Circulaire	NR	NR	NR	85	Sans objet	Dallé	Vide ; Aucun traitement	Inconnu	Puits de Fontlade traité vide et fermé en tête par une dalle rectangulaire en béton armée (2x3 m).
Merlançon	P78	Puits n°78	Puits	952212.07	6260489.08	294.5	Non ; Non retrouvé	Autre	10	Aérage	Rectangulaire	NR	NR	NR	47	Sans objet	Talutée	Remblayée	Inconnu	

Titre minier	N°Id	Nom	Type	X (RGF93)	Y (RGF93)	Z (m)	Matérialisation	Source position	Incertitude de localisation	Rôle	Forme	Diamètre / Largeur	Longueur	Hauteur	Profondeur	Direction	Etat tête	Etat corps	Revêtement	Observations
Merlançon	G174	Travers-banc de Merlançon	Descenderie	953261.7	6260557.04	280	Oui ; Retrouvé	DGPS	2	Exploitation	Vouté	5	NR	5.25	90	N256 Inclinaison 26°	Ouverte	Vide ; Aucun traitement	Aucun	Descenderie de dimension importante en taille et fermée en tête par un mur en parpaings accessible via une porte de garage.
Merlançon	G191	Galerie n°191	Galerie	953650.42	6260097.98	0	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N250	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie attaquée à flanc de falaise, sans plan précis des travaux.
Merlançon	G192	Galerie n°192	Galerie	953669.14	6260075.18	328.8	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N240	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie attaquée à flanc de falaise, sans plan précis des travaux.
Merlançon	G32	Galerie n°32	Galerie	953675.61	6260062.01	327.7	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N180	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie attaquée à flanc de falaise, sans plan précis des travaux.
Merlançon	G157	Galerie n°157	Galerie	953766.26	6260049.08	345	Non ; Non recherché	Autre	10	Exploitation	Inconnu	NR	NR	NR	Sans objet	N160	Inconnue	Inconnue ; traitement inconnu	Inconnu	Ancienne galerie attaquée à flanc de falaise, sans plan précis des travaux.

ANNEXE 3

Liste et caractéristiques des désordres observés

Titre Minier	n° Id	X (RGF93)	Y (RGF93)	Type	Longueur (m)	Largeur (m)	Profondeur (m)	Type d'exploitation	Remarque
Tourves	D1	934934.29	6256787.63	Effondrement localisé	4	3	1	Travaux anciens à l'affleurement	
	D2	934938.83	6256786.5	Effondrement localisé	1	1	0.5	Travaux anciens à l'affleurement	
	D3	934958.8	6256789.79	Effondrement localisé	3	1	0.5	Travaux anciens à l'affleurement	
	D4	935006.79	6256785.93	Effondrement localisé	3	3	1.5	Travaux anciens à l'affleurement	
	D5	935058.08	6256816.34	Effondrement localisé	2	2	1.5	Travaux anciens à l'affleurement	
	D6	935095.86	6256821.22	Effondrement localisé	1	1	0.5	Travaux anciens à l'affleurement	
	D7	935120.94	6256811.12	Effondrement localisé	4	2	1.5	Travaux anciens à l'affleurement	
	D8	935118.1	6256832.22	Effondrement localisé	5	3	2	Travaux anciens à l'affleurement	
	D9	935165.53	6256832.11	Effondrement localisé	8	5	3	Travaux anciens à l'affleurement	
	D10	935358.86	6256795.46	Effondrement localisé	4	4	4	Travaux anciens à l'affleurement	
	D11	935328.8	6256811.57	Effondrement localisé	4	2	1	Travaux anciens à l'affleurement	
	D12	935321.99	6256821.44	Effondrement localisé	4	4	1	Travaux anciens à l'affleurement	
	D13	935355.57	6256839.48	Effondrement localisé	4	1.5	0.5	Travaux anciens à l'affleurement	
	D14	935437.72	6256824.85	Effondrement localisé	3	2	0.5	Travaux anciens à l'affleurement	
	D15	934939.28	6256794.78	Effondrement localisé	15	3	1	Travaux anciens à l'affleurement ou grattages à l'affleurement ?	
	D16	935372.48	6256820.2	Effondrement localisé	24	10	2	Travaux anciens à l'affleurement	
	D17	935478.68	6256786.5	Effondrement localisé	12	8	2	Travaux anciens à l'affleurement	
	D18	935491.39	6256799.21	Effondrement localisé	3	3	1	galerie isolée	
	D19	935491.73	6256794.55	Effondrement localisé	3	2	3	galerie isolée	
	D20	935507.16	6256780.26	Effondrement localisé	3	1.5	0.5	Travaux peu profonds	
Engardin	D42	944089.71	6258636.82	Effondrement localisé	4	4	> 10	Débourrage de tête de chantier.	
	D43	944111.95	6258635.46	Effondrement localisé	3	3	> 10	Débourrage de tête de chantier	
	D44	944670.86	6258737.13	Effondrement localisé	2	2	> 5	Débourrage de tête de chantier	
	D45	944661.1	6258739.73	Effondrement localisé	2	2	> 5	Débourrage de tête de chantier	
Mazaugues	D22	937426.81	6256627.76	Effondrement localisé	cf. remarque			Travaux peu profonds	Zone de 30 m x 15 m comportant de nombreux effondrements localisés.
	D23	937728.73	6256648.53	Effondrement localisé	Petite dépression.			Travaux anciens à l'affleurement	

Titre Minier	n° Id	X (RGF93)	Y (RGF93)	Type	Longueur (m)	Largeur (m)	Profondeur (m)	Type d'exploitation	Remarque
	D24	937378.47	6256606.89	Effondrement généralisé	53	20	3	Travaux peu profonds	
	D25	937904.6	6256619.14	Effondrement localisé	Petite dépression.			Travaux anciens à l'affleurement	
	D26	937908.91	6256615.51	Effondrement localisé	Petite dépression.			Travaux anciens à l'affleurement	
	D27	937912.54	6256613.13	Effondrement localisé	Petite dépression.			Travaux anciens à l'affleurement	
	D28	938629.84	6256633.44	Effondrement localisé	2	2	0.5	Travaux anciens à l'affleurement	
	D29	938621.9	6256572.51	Effondrement localisé	6	5	5	Travaux peu profonds (dépilages)	
	D30	938687.48	6256552.65	Effondrement généralisé	100	50	0	Travaux peu profonds (dépilages)	
	D31	938631.09	6256522.7	Effondrement généralisé	20	16	2	Travaux peu profonds (dépilages)	
	D32	938647.77	6256581.59	Effondrement localisé	cf. remarque			Travaux peu profonds (dépilages)	Zone de 40 m x 25 m comportant de nombreux effondrements localisés métriques.
	D33	938736.04	6256630.6	Effondrement localisé	cf. remarque			Travaux peu profonds (dépilages)	Zone de 30 m x 30 m comportant de nombreux effondrements localisés métriques.
	D34	938810.92	6256660.78	Effondrement localisé	3	1.5	1	galerie isolée	
	D35	938819.89	6256660.78	Effondrement localisé	6	5	0	galerie isolée	
	D36	938829.76	6256658.17	Effondrement localisé	4	1	0	galerie isolée	
	D37	938868.9	6256506.02	Effondrement généralisé	26	20	0	Dépilages	
	D38	939641.12	6257048.25	Effondrement localisé	7	5	3	galerie isolée	
	D39	939636.58	6257050.52	Effondrement localisé	15	6	4	galerie isolée	
Saint-Julien	D40	939832.42	6257231.04	Effondrement localisé	cf. remarque			Travaux peu profonds	Zone de 50 m x 30 m comportant de nombreux effondrements localisés métriques.
	D41	941068.8	6257871.19	Effondrement localisé	Petite dépression			galerie isolée	Effondrement au droit de la poudrière, bien que parements et toit soient bétonés. Effondrement probablement antérieur au bétonnage
Les Pourraques	D46	951020.95	6260410.68	Effondrement localisé	3	3	1	Travaux peu profonds	Succession de deux petits effondrements
Merlançon	D47	952359.46	6260500.54	Effondrement localisé	1.5	1.5	1	galerie isolée	
	D48	952483.47	6260478.64	Effondrement localisé	3	3	3	Puits ?	

ANNEXE 4

Liste des travaux à ciel ouvert

Titre minier	N°Id	Nom	Type	Etat	Remarque
TOURVES	TCO1	TCO1 Découverte amont	Découverte	Partiellement remblayée	Reprise de vieux travaux souterrains - Profondeur max = 15 m - Surface = 15000 m2
	TCO2	TCO2 Tranchée de la descenderie	Tranchée	Partiellement remblayée	Reprise de vieux travaux souterrains - Profondeur max = 10 m - Surface = 2000 m2
	TCO3	TCO3 Découverte de la Baume Nord	Découverte	Partiellement remblayée	Reprise de vieux travaux souterrains - Profondeur max = 15 m - Surface = 35000 m2
	TCO20	TCO20 Anciens grattages à Tourves	MCO	En partie éboulé	Front de vieux grattages donnant accès à des travaux souterrains
MAZAUGUES	TCO4	TCO4 Décapages de la Caïre	MCO	Partiellement remblayée	Surface = 1700 m2
	TCO5	TCO5 Décapages de la Caïre	MCO	Partiellement remblayée	Surface = 5800 m2
	TCO7	TCO7 Décapages de la Caïre	MCO	Partiellement remblayée	Surface = 1700 m2
	TCO18	TCO18 Décapage des Fouilles	Fouilles	Restructurée (talus réajustés, remblayage partiel, revégétalisation...)	Reprise de vieux travaux souterrains (accès restreint - société TITANOBEL) - Surface = 11600 m2
	TCO19	TCO19 Décapage de Nicollet	MCO	Restructurée (talus réajustés, remblayage partiel, revégétalisation...)	Surface = 26000 m2
	TCO21	TCO21 Décapage des Fouilles	Fouilles	Restructurée (talus réajustés, remblayage partiel, revégétalisation...)	Reprise de vieux travaux souterrains
	TCO6	TCO6 Décapages de la Caïre	MCO	Partiellement remblayée	Surface = 6500 m2
SAINT-JULIEN	TCO8	TCO8 Découverte de Vautruite	Découverte	Partiellement remblayée	Surface = 7000 m2
	TCO9	TCO9 Tranchée de la Trémie à Saint-Julien	Tranchée	Partiellement remblayée	Surcreusement effectuée pour accueillir la trémie à la sortie de la galerie. - Surface = 2800 m2
	TCO10	TCO10 Découverte C à Saint-Julien	Découverte	Partiellement remblayée	Surface = 9000 m2
	TCO11	TCO11 Découverte B à Saint-Julien	Découverte	Restructurée (talus réajustés, remblayage partiel, revégétalisation...)	Surface = 11300 m2
	TCO12	TCO12 Découverte A à Saint-Julien	Découverte	Restructurée (talus réajustés, remblayage partiel, revégétalisation...)	Surface = 18000 m2
	TCO27	TCO27 Découverte à Saint-Julien	MCO	Partiellement remblayée	- Surface = 3600 m2
	TCO28	TCO28 Découverte à Saint-Julien	MCO	Inconnu	Dessinée à partir de la BD ORTHO® de l'IGN
ENGARDIN	TCO14	TCO14 Tranchées du Quartier du Pin	Tranchée	Partiellement remblayée	Succession de petites tranchées exploitées à l'affleurement. - Surface = 500 m2
	TCO16	TCO16 Tête de chantiers Quartier du Trebuquet	MCO	Partiellement remblayée	Surface = 3700 m2

Titre minier	N°Id	Nom	Type	Etat	Remarque
	TCO13	TCO13 Tête de chantiers Quartier Nord-Ouest	MCO	Partiellement remblayée	Surface = 5000 m2
	TCO13	TCO13 Tête de chantiers Quartier Nord-Ouest	MCO	Partiellement remblayée	Surface = 1000 m2
	TCO15	TCO15 Tête de chantiers Quartier du Pin	MCO	Partiellement remblayée	Surface = 10000 m2
	TCO15	TCO15 Tête de chantiers Quartier du Pin	MCO	Partiellement remblayée	Surface = 4400 m2
	TCO17	TCO17 Tranchées du Quartier du Candelon	Tranchée	Végétalisée	Accès difficile car très végétalisé. - Surface = 290 m2
	TCO29	TCO29 Tranchées du Quartier du Candelon	Tranchée	Végétalisée	Succession de petites tranchées exploitées à l'affleurement. Accès difficile car très végétalisé. - Surface = 2800 m2
LES POURRAQUES	TCO23	TCO23 Découverte du Collet Rouge à Pelicon	Découverte	inconnu	Surface = 180 m2
	TCO22	TCO22 Découverte du Collet Rouge à Pelicon	Découverte	inconnu	Surface = 2000 m2
	TCO30	TCO23 Tranchées de Pelicon	Tranchée	inconnu	- Surface = 3800 m2
	TCO31	TCO23 Tranchées de Pelicon	Tranchée	inconnu	- Surface = 3800 m2
	TCO24	TCO24 Tranchée Bribot Ouest	Tranchée	Végétalisée	Accès difficile car très végétalisé. - Surface = 13200 m2
MERLANCON	TCO25	TCO25 Tranchée Bribot Est	Tranchée	Végétalisée	Reprise de vieux travaux souterrains. Accès difficile car très végétalisé. - Surface = 20000 m2
	TCO32	TCO32 Tranchée Bribot Est	Tranchée	Végétalisée	Reprise de vieux travaux souterrains. Accès difficile car très végétalisé. - Surface = 20000 m2
	TCO26	TCO26 Décapage de la Rouge	MCO	Partiellement remblayée	Décapage important qui a repris en partie l'ancienne exploitation souterraine de la Rouge.
	TCO34	TCO26 Décapage de la Rouge	MCO	Décapage de la Rouge	Décapage important qui a repris en partie l'ancienne exploitation souterraine de la Rouge.
	TCO33	TCO33 Tranchée Bribot Est	Tranchée	Végétalisée	Reprise de vieux travaux souterrains. Accès difficile car très végétalisé. - Surface = 20000 m2

ANNEXE 5

Liste des dépôts

TITRE MINIER	N°Id	NOM	Configuration	Instabilité / Combustion / Végétalisation	Pente / Volume / Granulométrie	Observations
ROUGIERS	V1	ZD 1_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	
ROUGIERS	V2	ZD 2_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	
ROUGIERS	V37	ZD 37_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable. - Surface = 200 m2
ROUGIERS	V38	ZD 38_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
ROUGIERS	V39	ZD 39_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
ROUGIERS	V40	ZD 40_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
ROUGIERS	V41	ZD 41_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
ROUGIERS	V42	ZD 42_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
ROUGIERS	V43	ZD 43_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
ROUGIERS	V44	ZD 44_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
ROUGIERS	V45	ZD 45_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
ROUGIERS	V46	ZD 46_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
ROUGIERS	V47	ZD 47_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
ROUGIERS	V48	ZD 48_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
TOURVES	V3	ZD 3_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : totale	Pente-Talus : 20-50% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	
TOURVES	V4	ZD 4_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Hauteur = 1m
TOURVES	V5	ZD 5_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : 20-50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Hauteur = 1m
TOURVES	V6	ZD 6_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : totale	Pente-Talus : > 50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	
TOURVES	V7	ZD 7_Dépôts du puits Tourtin-Audibert	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Puits sous dépôt	Pente-Talus : > 50% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Dépôts provenant du puits Tourtin-Audibert - Hauteur = 2m
TOURVES	V8	ZD 8_Décharge Ouest	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Aire de stockage des déchets de la découverte ouest végétalisée (mélange de bauxite et de calcaire) - Hauteur = 5m - Surface = 21 000 m2
TOURVES	V9	ZD 9_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	

TITRE MINIER	N°Id	NOM	Configuration	Instabilité / Combustion / Végétalisation	Pente / Volume / Granulométrie	Observations
TOURVES	V12	ZD 12_Dépôts des travaux Callas	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : totale - Galerie sous dépôt	Pente-Talus : > 50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	
TOURVES	V14	ZD 14_Dépôts du puits UB	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	
TOURVES	V16	ZD 16_Dépôt de la Descenderie des trvx Ouest	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Descenderie des travaux Ouest traitée sous dépôt	Pente-Talus : < 20% - Volume : 5000-10000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Produits de creusement utilisés pour restructurer la zone de la Descenderie des travaux Ouest - Hauteur = 1m - Surface = 9 000 m2
TOURVES	V22	ZD 22_Dépôt de la Découverte Ouest	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Vieilles galeries sous dépôt	Pente-Talus : < 20% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Produits de creusement (mêlé au calcaire) utilisés pour restructurer la découverte Ouest de Tourves. Dépôt très diffus dont les contours sont incertains - Hauteur = 1m - Surface = 16 000 m2
TOURVES	V13	ZD 13_Dépôt de la Baume Nord	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Dépôt provenant des déchets de la découverte de la Baume Nord (mélange de bauxite et de calcaire) - Hauteur = 3m - Surface = 20 000 m2
TOURVES	V15	ZD 15_Dépôt des vieux travaux Callas	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Vieilles galeries sous dépôt	Pente-Talus : < 20% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Produits de creusement utilisés pour restructurer la zone des vieux travaux Callas - Hauteur = 1m - Surface = 13 m2
TOURVES	V27	ZD 27_Dépôts	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Vieilles galeries sous dépôt	Pente-Talus : < 20% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Dépôt très diffus, dont les contours sont incertains. - Surface = 34 500 m2
TOURVES	V34	ZD 34_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit dépôt en sortie de galerie
TOURVES	V10	ZD 10_Dépôts du puits I	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : possible - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : 10000-10000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Le dépôt est sappé par le ruisseau du "Grand Gaudin" lorsque celui-ci est chargé - Hauteur = 5m - Surface = 4 500 m2
TOURVES	V11	ZD 11_Dépôts du puits II	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : possible - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Puits II (visible) sous dépôt	Pente-Talus : > 50% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Le dépôt est sappé par le ruisseau du "Grand Gaudin" lorsque celui-ci est chargé - Hauteur = 5m - Surface = 5 700 m2
TOURVES	V58	83_0033_A_T7	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : possible - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : >100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	non observé - données issues de la DDIE
MAZAUGUES	V17	ZD 17_Dépôt de la Descenderie A	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Produits de creusement utilisés pour restructurer la zone de la Descenderie A. Dépôt très diffus dont les contours sont incertains - Hauteur = 1m - Surface = 30 500 m2
MAZAUGUES	V18	ZD 18_Dépôt de la Descenderie D	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Produits de creusement utilisés pour restructurer la zone de la Descenderie D. Dépôt très diffus dont les contours

TITRE MINIER	N°Id	NOM	Configuration	Instabilité / Combustion / Végétalisation	Pente / Volume / Granulométrie	Observations
						sont incertains - Hauteur = 0,5m - Surface = 4 200 m2
MAZAUGUES	V19	ZD 19_Dépôt de Mazaugues Aval	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Aire de stockage de bauxite de Mazaugues Aval retaluté en partie afin de rétablir la topographie. Dépôt très diffus dont les contours sont incertains - Hauteur = 1m - Surface = 24 400 m2
MAZAUGUES	V20	ZD 20_Dépôt de remblais Mazaugues Aval	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : possible - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : >100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Ancien stockage des remblais de Mazaugues Aval en partie retaluté. De nombreux emprunts ont été effectués et d'importantes ravines sont présentes - Hauteur = 10m - Surface = 31 800 m2
MAZAUGUES	V21	ZD 21_Dépôt de la Descenderie de Bezud	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : 20-50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Présence de ravines - Hauteur = 2m - Surface = 300 m2
MAZAUGUES	V23	ZD 23_Dépôt des Fouilles	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Produits de creusement utilisés pour restructurer le secteur des Fouilles. Dépôt très diffus dont les contours sont incertains - Hauteur = 0,5m - Surface = 26 500 m2
MAZAUGUES	V24	ZD 24_Aire de stockage de stérile de Mazaugues Amo	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : >100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Ancien aire de stockage des stériles de creusement de Mazaugues Amont - Hauteur = 25m - Surface = 70 000 m2
MAZAUGUES	V25	ZD 25_Dépôt de la Découverte de Nicollet	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Vieilles galeries sous dépôt	Pente-Talus : 20-50% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Produits de creusement (mêlé au calcaire) utilisés pour restructurer la découverte de Nicollet. Dépôt très diffus dont les contours sont incertains - Hauteur = 1m - Surface = 25 500 m2
MAZAUGUES	V35	ZD 35_Dépôts du ravin du Caramy	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : possible - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Dépôt résultant du creusement des deux galeries de recherche sur le flanc ouest du ravin. En cas de crue subite, le dépôt peut être en partie érodé - Hauteur = 3m - Surface = 1 200 m2
MAZAUGUES	V36	ZD 36_Dépôts du ravin du Caramy 2	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : possible - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Dépôt de pente provenant du TB en amont. Le contours du dépôt est approximatif - Hauteur = 1m - Surface = 2 500 m2
MAZAUGUES	V49	ZD 49_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : 20-50% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Hauteur = 1m
MAZAUGUES	V26	ZD 26_Dépôts du décapage de la Baume Nord	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : possible - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : >100000 m3 - Granulométrie : cm-dm	Important dépôt essentiellement composé de calcaire du Crétacé et résultant du creusement du décapage de la Baume Nord - Hauteur = 40m - Surface = 68 000 m2
MAZAUGUES	V59	83_0032_A_T3	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : 20-50% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	non observé - données issues de la DDIE

TITRE MINIER	N°Id	NOM	Configuration	Instabilité / Combustion / Végétalisation	Pente / Volume / Granulométrie	Observations
SAINT-JULIEN	V28	ZD 28_Dépôts de la trémie du Plan n°1	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Dépôt provenant de la trémie du Plan n°1 restructuré. Dépôt très diffus dont les contours sont incertains - Hauteur = 2m - Surface = 23 500 m2
SAINT-JULIEN	V29	ZD 29_Dépôt de la mine de Saint-Julien	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Vieux puits d'aérage sous dépôt	Pente-Talus : 20-50% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Dépôts restructuré (taluté et végétalisé) à la fermeture de la mine (contours approximatifs) - Hauteur = 5m - Surface = 18 200 m2
SAINT-JULIEN	V30	ZD 30_Dépôts de la Découverte de Vautruite	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Vieux travaux surement repris par le decapage.	Pente-Talus : < 20% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Produits de creusement (mêlé au calcaire) utilisés pour restructurer la découverte de Vautruite. Dépôt très diffus dont les contours sont incertains - Hauteur = 2m - Surface = 15 800 m2
SAINT-JULIEN	V31	ZD 31_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : nulle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Mélange entre dépôt et affleurement de bauxite au droit d'un petit decapage - Surface = 3 200 m2
SAINT-JULIEN	V60	83_0020_A_T1	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	non observé - données issues de la DDIE
SAINT-JULIEN	V61	83_0020_A_T2	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	non observé - données issues de la DDIE
SAINT-JULIEN	V62	83_0020_A_T6	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 5000-10000 m3 - Granulométrie : cm-dm	non observé - données issues de la DDIE
SAINT-JULIEN	V63	83_0020_A_T4	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : possible - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : cm-dm	non observé - données issues de la DDIE
ENGARDIN	V32	ZD 32_Dépôts du quartier de la Forge	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : possible - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Vieille galerie sous dépôt	Pente-Talus : > 50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Dépôt du quartier de la Forge le long de la pente en aval des travaux miniers - Hauteur = 2m - Surface = 2 000 m2
ENGARDIN	V33	ZD 33_Dépôts aux têtes de chantiers	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : oui - Combustion : non - Végétalisation : partielle - Têtes de chantiers à fort pendage sous dépôt	Pente-Talus : < 20% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Dépôts résultant du remblayage des têtes de chantiers de l'exploitation d'Engardin. Localement, le remblai débouffe dans les chantiers rendant ainsi les secteurs instables. - Surface = 31 500 m2
ENGARDIN	V50	ZD 50_Dépôts du Candélon	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : 20-50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Dépôts provenant des travaux de grattage du secteur du Candélon - Hauteur = 4m - Surface = 580 m2
ENGARDIN	V64	83_0019_A_T3	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 5000-10000 m3 - Granulométrie : mm-cm	non observé - données issues de la DDIE
ENGARDIN	V65	83_0019_A_T5	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : 20-50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : cm-dm	non observé - données issues de la DDIE
LES POURRAQUES	V69	ZD 69_Dépôt de la Mine de Pelicon	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : 20-50% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Ancienne zone de stockage et grattage de la bauxite de la mine du Pelicon - Hauteur = 5m - Surface = 16 000 m2
LES POURRAQUES	V51	ZD 51_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.

TITRE MINIER	N°Id	NOM	Configuration	Instabilité / Combustion / Végétalisation	Pente / Volume / Granulométrie	Observations
LES POURRAQUES	V52	ZD 52_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
LES POURRAQUES	V53	ZD 53_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	Petit tas de produits de creusement, de taille négligeable.
LES POURRAQUES	V67	83_0008_B_T2	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : 5000-10000 m3 - Granulométrie : mm-cm	
LES POURRAQUES	V68	83_0008_B_T1	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : cm-dm	
MERLANCON	V54	ZD 54_Dépôts	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : 20-50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Hauteur = 1m - Surface = 580 m2
MERLANCON	V55	ZD 55_Dépôt du puits de Fontlade	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : > 50% - Volume : 500-5000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Hauteur = 4m - Surface = 1 100 m2
MERLANCON	V56	ZD 56_Dépôts du puits de Merlançon	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : 20-50% - Volume : 10000-100000 m3 - Granulométrie : mm-cm	Hauteur = 3m - Surface = 17 000 m2
MERLANCON	V66	83_0007_A_T5	Tas ; Produits de creusement	Instabilité : possible - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : < 20% - Volume : < 500 m3 - Granulométrie : mm-cm	non observé - données issues de la DDIE
MERLANCON	V57	ZD 57_Dépôts du décapage de la Rouge	Terrasse ; Produits de creusement	Instabilité : non - Combustion : non - Végétalisation : partielle	Pente-Talus : 20-50% - Volume : >100000 m3 - Granulométrie : cm-dm	Important dépôt résultant du creusement du décapage de la Rouge. La bauxite est donc mélangée au calcaire du Crétacé - Hauteur = 20m - Surface = 140 000 m2

ANNEXE 6

Méthodes d'analyse de stabilité

1. PRINCIPES

Lorsque l'évaluation du risque d'instabilité nécessite un diagnostic approfondi qui ne s'inscrit pas dans le cadre d'un simple avis d'expert, l'étude de stabilité se traduit classiquement par l'estimation d'un coefficient de sécurité :

$$F_s = R / S$$

Il s'agit de déterminer, d'une part, la contrainte admissible par le matériau (R), exprimée par sa résistance, et, d'autre part, la contrainte (solicitation) régnant au sein la structure (S).

La connaissance de la répartition des contraintes dans le massif ne pouvant pas s'obtenir à partir de simples mesures in situ, on doit recourir à des modèles de comportement du massif. Parmi les nombreux modèles susceptibles de décrire le comportement d'un massif rocheux, il faut choisir celui qui correspond le mieux à la morphologie du site et à la nature des roches en place. L'utilisation du modèle choisi doit, chaque fois que cela est possible, s'accompagner de mesures in situ afin de pouvoir le caler grâce à des conditions aux limites précises.

2. RESISTANCE ULTIME DU MATERIAU

La résistance ultime du matériau, « en grand » et à « long terme », R_u , est généralement évaluée à partir de formules empiriques faisant intervenir des données issues des essais de laboratoire, et intègre les diverses corrections suivantes :

- la première approche s'appuie sur la prise en compte de la dispersion des valeurs des caractéristiques mesurées ;
- la deuxième approche repose sur l'analyse des trois principaux facteurs d'influence que sont : l'effet d'échelle (prise en compte des dimensions « in situ »), l'effet d'élancement et l'effet du temps
- la troisième approche repose sur la rétro-analyse d'effondrements observés.

2.1. Dispersion des valeurs des caractéristiques

La première approche consiste à prendre en compte la dispersion des résultats. Une approche purement statistique du type $R_u = R - k\sigma$ (σ = écart-type) est une solution courante. Elle est souvent trop sévère mais parfois au contraire trop peu sécuritaire car elle donne beaucoup d'importance à la forme de la loi statistique (log normale en général) et aux valeurs extrêmes. En outre, le nombre le plus souvent insuffisant des essais est source d'incertitude sur l'évaluation de la dispersion (écart-type) et donc du résultat final.

2.2. Deuxième approche : Facteurs d'influence

La deuxième approche consiste à estimer la résistance du massif en place à partir de corrections opérées sur les valeurs obtenues au laboratoire sur des échantillons. Là aussi, les facteurs d'influence (effet d'échelle, effet d'élancement et effet du temps) sont très différents d'un matériau à un autre et peuvent être très importants. Plusieurs formules proposées à partir de simulations au laboratoire et in situ, donnent la résistance d'un pilier en fonction de sa taille, de son élancement et du temps. La formule correctrice est de la forme :

$$R_u = \Psi \cdot R_e$$

Avec :

$\Psi = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$, coefficients intégrant les effets d'échelle, d'élançement et du temps.

R_e = résistance limite élastique moyenne du banc le plus faible.

Le choix de la valeur représentative reste un problème délicat à traiter. Il doit, chaque fois que cela est possible, s'appuyer sur le retour d'expérience (rétroanalyse d'accident). Pour faciliter cette démarche, il est utile que soit rassemblée dans les zones les plus affectées, toute l'expérience acquise et le plus souvent dispersée (rapports d'accident, sondages et caractérisation, étude de sites, etc.). Il est convenu dans la littérature de géotechnique minière, que le coefficient Ψ est sécuritaire lorsqu'il est inférieur ou égal à 0,5.

2.2.1. Effet d'échelle

Les essais géomécaniques réalisés en laboratoire sont presque toujours menés sur des échantillons de très petites dimensions en regard des dimensions des piliers. Or, d'une manière générale, la résistance d'un échantillon diminue lorsque ses dimensions croissent. Ceci résulte notamment du fait que, plus les échantillons sont de grande taille, plus la probabilité qu'ils soient affectés par des discontinuités macroscopiques est élevée (on ne choisit en effet pas d'échantillons trop fracturés pour mener à bien les essais).

Les formulations les plus fréquemment proposées par les auteurs [Holland (1973), Hustrulid (1976), Herget (1988)] sont de la forme suivante :

$$R_{cD} = R_{cd} (d/D)^\alpha$$

avec :

d : dimension du côté de l'échantillon testé ;

R_{cd} : résistance à la compression simple d'un échantillon de côté d ;

α : constante établie par les différents auteurs pour les différents sites étudiés.

Connaissant la résistance en laboratoire d'un échantillon de dimension d , il est ainsi possible d'évaluer la résistance d'un pilier de dimension D par ce processus de calcul. Dans les faits, on n'affecte généralement pas à D la largeur intégrale du pilier mais une valeur de largeur « critique », pour laquelle la résistance demeure inchangée quelle que soit la taille de l'échantillon. Pour les expérimentations menées par Hustrulid, la taille critique minimale des échantillons au-delà de laquelle l'effet d'échelle n'a plus d'influence s'est avérée égale à 90 cm. Pour Herget l'effet d'échelle n'a plus guère d'influence pour un rapport $d/D < 1/10$.

Pour la plupart des roches, le coefficient α varie, pour Herget entre 0,18 (roches dures élasto-fragiles) et 0,07 (roches compressibles au comportement plastique).

Pour des échantillons de charbon, α peut être compris entre 0,17 (Evans et al., 1961) et 0,5 (Holland, 1973 ; et Hustrulid, 1976). On remarquera donc, sans trop s'en étonner compte tenu de la nature micro-fracturée du charbon, que le facteur correctif lié à l'effet d'échelle des échantillons induit une baisse très sensible de la résistance macroscopique à l'échelle du pilier.

On peut citer quelques valeurs empiriques de ces coefficients issues d'expérimentations et d'analyses fondamentales en retours d'expérience (in situ) :

site	gisement	Effet d'échelle
M'DILA	Phosphate	0,75
MEUDON	craie	0,83
JONZAC	calcaire	0,83
HERGET, 1988	Hard rock	0,70

2.2.2. Effet d'élançement

Concernant l'effet d'élançement ($R_c = k.R_c'$)^[*] nous retiendrons essentiellement les relations empiriques suivantes valables sur différents types de roches et non pas uniquement sur le charbon :

$$k = 0,778 + 0,222.L/H \quad (\text{Obert - Duvall, 1967})$$

$$k = L^{0,5}/H^{0,5} \quad (\text{formule de l'USBM, Holland, 1973})$$

NB ^[*] : la valeur R_c correspond à un spécimen de référence d'élançement 1, R_c' à un échantillon de dimensions quelconques, de largeur L et de hauteur H .

A titre d'exemples, pour différentes géométries, ces relations donnent les coefficients d'élançement (K) suivants :

Valeurs d'élançement	$K = 0,778 + 0,222.L/H$	$K = L^{0,5}/H^{0,5}$
0,5	1,22	1,41
0,75	1,07	1,15
1	1	1
1,25	0,96	0,89
1,50	0,93	0,82
2	0,89	0,71

2.2.3. Effet du temps

L'approche la plus courante vise à évaluer la résistance à long terme (résistance ultime) à partir des valeurs de la résistance obtenue sur un essai de durée limitée (essai de fluage), en adoptant : $R_U = R_{\text{fluage}}$. Les essais directs de fluage, longs, difficiles et coûteux, ne sont réalisés qu'en petit nombre. Plusieurs méthodes de détermination indirecte sont utilisables. Les plus simples consistent à adopter la limite élastique, R_e ou l'apparition de la dilatance de l'éprouvette avec différentes estimations simplistes mais pratiques, comme : $R_u = 2/3 R_e$ ou $R_u = R_d/2$, voire $R_d/3$ pour certains matériaux comme le gypse.

Citons quelques exemples d'essais de fluage donnant des valeurs indicatives des rapports R_{flu}/R_c pour différentes roches :

site	gisement	R_{flu}/R_c
Meudon	craie	0,49 – 0,62
Jonzac	calcaire	0,6 – 0,74
Lorraine	Minerai de fer	0,47
LCPC	gypse	0,6 – 0,37
LCPC	gypse	0,33
Rush, 1960	béton	0,80
Lama Vutukuri, 1978	béton	0,75
Munday	granodiorite	0,85

On peut citer quelques valeurs empiriques de ces coefficients issues d'expérimentations et d'analyses fondamentales en retours d'expérience (in situ) :

site	gisement	Effet temps
M'DILA	Phosphate	0,82
MEUDON	craie	0,72 – 0,86
JONZAC	calcaire	0,75 – 0,82
HAUTIL	gypse	0,85
RIFLE, Colorado	Oil shale	0,86

2.3. Troisième approche : rétro-analyse d'effondrements observés

La rétro-analyse d'effondrements observés permet de déterminer la résistance ultime (R_u) du matériau. Elle est atteinte lorsque la ruine des piliers, sans facteur extérieur (absence de torpillage), est réalisée. Son calcul est basé sur la méthode de l'aire tributaire qui évalue la charge que supportait les piliers juste avant leur ruine (cf. § 3).

En comparant la valeur obtenue à celle de la résistance mesurée en laboratoire (R_c), on peut obtenir un coefficient qui transcrit l'effet d'échelle, du vieillissement du matériau, l'action de l'eau, etc. Dans le cas de la craie ou du gypse une valeur de $R_u = R_c/3$ est considérée comme sécuritaire. Dans certains cas où les effets de site sont plus importants, cette valeur peut être plus faible (cas du Bassin Ferrifère Lorrain où $R_u = R_c/4$).

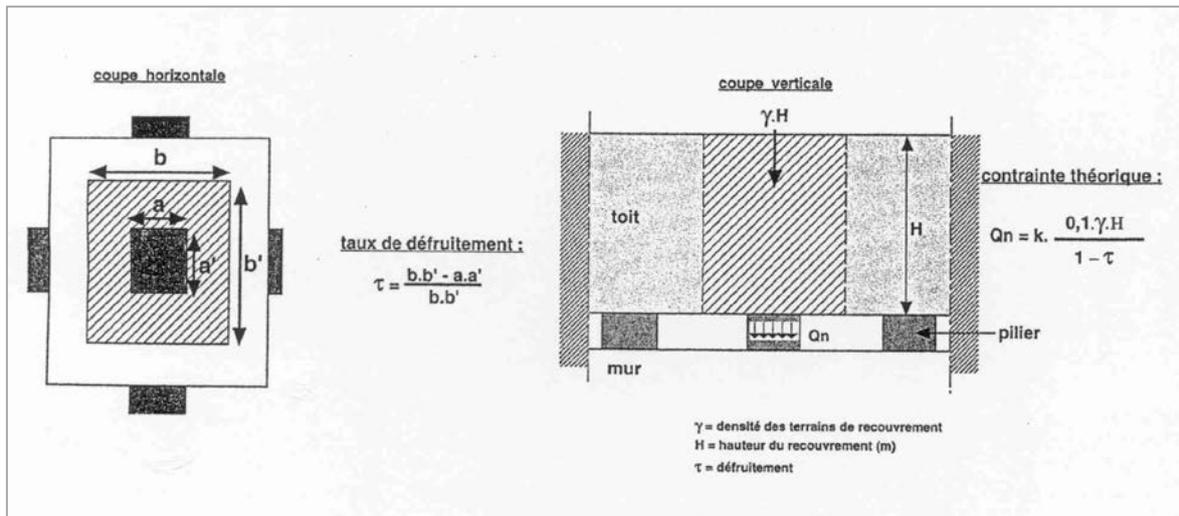
3. MODELES DE CALCUL ANALYTIQUE

De tels modèles permettent de fournir des ordres de grandeur et ne correspondent qu'à une vision simplifiée des choses, où l'état de fracturation et d'altération de la roche ne peut être réellement pris en compte. Ces approches sont davantage adaptées à la détermination du dimensionnement de futures exploitations qu'au diagnostic de stabilité des carrières abandonnées. Néanmoins, elles peuvent permettre au géotechnicien de se faire une opinion sur le bien fondé du dimensionnement de la carrière vis-à-vis des conditions de stabilité (taux de défrètement, taille des piliers, portance du toit, etc.).

3.1. Les modèles relatifs à la charge appliquée aux piliers

Lorsque le toit immédiat de l'exploitation est constitué de bancs assez minces, fracturés suivant des directions très variables ou constitués de matériaux peu résistants, et surtout lorsque la largeur totale de la zone exploitée est au moins supérieure à une fois et demi la profondeur, on admet que chaque pilier doit supporter la partie des terrains de recouvrement qui se trouve au-dessus de lui ainsi que celle qui surplombe la moitié de la surface de la chambre qui l'entoure.

Il s'agit du modèle classique de l'**aire tributaire**. Son application la plus simple consiste à diviser la charge supportée par un pilier par sa surface. Ceci donne ainsi une contrainte verticale moyenne qu'il est possible de comparer à la résistance ultime à la compression R_u , pour obtenir ainsi un coefficient de sécurité.



Evaluation de la contrainte verticale s'exerçant sur les piliers par le modèle de " l'aire tributaire "

La contrainte verticale théorique, Q_n , exercée sur les piliers est fonction du poids des terrains sus-jacents et du taux de défrètement de la carrière. Sa plus simple expression est de la forme :

$$Q_n = \frac{\gamma \cdot H}{1 - \tau} \quad \text{en MPa (1 MPa = 1 MN/m}^2\text{)}$$

où :

γ : poids volumique moyen des terrains de recouvrement, en MN/m^3 ;

H : hauteur du recouvrement, en mètres ;

τ : taux de défrètement, correspondant au rapport de la surface des vides à la surface totale.

Lorsque la largeur exploitée est inférieure à la profondeur (donc sous-critique), le recouvrement massif et résistant (au moins au niveau de certains bancs), la charge à supporter par les piliers ou le toit d'une galerie peut être supposée égale au poids des terrains contenus dans un dôme dont le contour dépend des hypothèses choisies (modèles de cloches de foudroyage potentielles de formes paraboliques ou elliptiques).

Malgré son apparente simplicité, le modèle de l'aire tributaire fournit des résultats intéressants. Aisé à mettre en œuvre, ce modèle ne nécessite que la connaissance de la résistance à la compression des piliers pour établir un diagnostic de leur stabilité.

En réalité, la distribution des contraintes verticales au sein du pilier est plus complexe et il faudrait prendre aussi en considération les contraintes horizontales (principalement au cœur des piliers larges) qui sont fonction de la loi de comportement du matériau rocheux (élasticité, élasto-plasticité, etc.). Le calcul peut être conduit par la méthode des éléments finis ou bien de façon analytique moyennant des hypothèses simplificatrices supplémentaires.

3.2. Les modèles relatifs à la charge appliquée au toit des chambres

Le domaine étudié s'applique au cas des toits stratifiés caractéristiques des terrains sédimentaires que l'on rencontre dans la grande majorité des carrières souterraines.

Les chutes de toit se développent souvent dans les zones où les dalles du bas-toit présentent une surface non soutenue maximale. C'est le cas des carrefours de galeries ou des zones affectées par la ruine d'un ou plusieurs piliers. Pour tenter d'évaluer la stabilité d'un toit de mine ou de carrière, différents modèles ont été mis au point afin d'estimer les contraintes qu'exercent les terrains sus-jacents sur le toit immédiat. La modélisation du comportement des bancs du toit doit être effectuée en analysant différentes hypothèses :

- la première consiste à examiner le comportement du toit immédiat pour déterminer s'il présente ou non des risques d'effondrement sous son propre poids (décollement fréquemment observé du banc) ;
- s'il s'avère que le ou les bancs sus-jacents s'appuient également sur le banc de toit immédiat (banc « pesant »), le calcul doit appliquer une surcharge correspondant au (ou aux) banc(s) sus-jacent(s), ou encore à la « voûte de détente » qui se forme dans les bancs de toit supérieurs ;
- dans certains cas, c'est l'ensemble du recouvrement (cas d'un recouvrement de type sol) qui peut se révéler être totalement pesant sur le banc inférieur.

Le choix du modèle adapté doit se faire en fonction de la configuration du site étudié (géométrie de l'exploitation, fracturation, altération, nature des différents terrains...). En fait, on applique généralement les différents types de modèles classiques au cas considéré et on retient celui qui impose le dimensionnement garantissant le mieux la sécurité de l'édifice. Les modèles de plaque reflètent souvent bien la réalité mais leur application est compliquée par l'utilisation d'abaques non nécessaires aux modèles de poutre. Un compromis doit, en général, être trouvé entre un modèle de plaque et un modèle de poutre encastree.

3.2.1. Modèle de la plaque reposée sur quatre piliers (Timoshenko)

Ce modèle considère une carrière souterraine exploitée en chambres et piliers avec une plaque de toit limitée aux quatre piliers voisins, dont l'aménagement est caractérisé par deux grandeurs géométriques fondamentales, a et b , selon le schéma suivant :

Lorsque le rapport a/b est inférieur à 2, on utilise préférentiellement le modèle de plaque posée sur quatre appuis, sinon on utilise le modèle de poutre.

Aussi appelé modèle de la dalle monolithique, le modèle de plaque a été établi par Timoshenko (1961). Il est applicable lorsque le premier banc est épais et résistant, peu fracturé verticalement (dalle monolithique) et la largeur exploitée assez grande (deux fois la profondeur). Il définit le toit comme une dalle limitée par quatre piliers carrés de côté u .

La dalle est ici considérée comme un carré de largeur a (il existe un modèle équivalent pour les dalles rectangulaires) et les piliers comme des appuis rigides appliquant des réactions constantes concentrées à leur centre (angle de la dalle), le toit étant chargé uniformément par la pression, q .

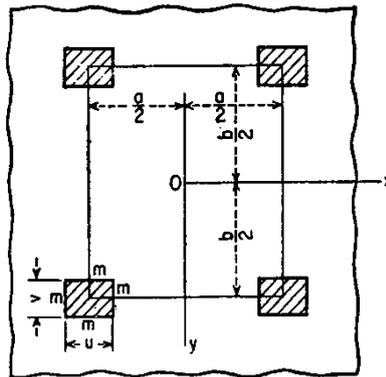


FIG. 123

Schéma représentant le modèle de plaque sur appuis simples de Timoshenko

Le moment fléchissant maximal (qui s'exerce généralement au centre de la plaque) et l'effort de cisaillement maximal (qui s'exerce généralement sur ses bords) sont établis, par mètre de largeur, à partir des relations suivantes :

$$M_{\max} = \beta \cdot q \cdot a^2 \text{ (N.m)} \quad \text{et} \quad V_{\max} = \gamma \cdot q \cdot a \text{ (N)}$$

où β et γ sont des coefficients fournis par des abaques dépendant du rapport u/a .

u/a	ν = 0,2		ν = 0,3	
	β	γ	β	γ
0	∞	∞	∞	∞
0,1	0,196	2,730	0,212	2,958
0,15	0,157	1,920	0,170	2,080
0,2	0,131	1,400	0,142	1,517
0,25	0,111	1,030	0,120	1,116
0,3	0,093	0,842	0,101	0,912
0,35	0,082	0,650	0,089	0,704
0,4	0,068	0,530	0,074	0,574
0,45	0,056	0,450	0,061	0,488
0,5	0,049	0,419	0,053	0,454
0,55	0,038	0,370	0,041	0,401
0,6	0,031	0,350	0,034	0,379
0,65	0,024	0,330	0,026	0,358
0,7	0,018	0,320	0,020	0,347

Valeurs des coefficients en fonction du rapport u/a (bords en appuis simples)

La valeur de la pression, q , correspond, quant à elle, à la pression exercée sur la plaque et est égale à tout ou partie de la charge des terrains supérieurs (selon les trois hypothèses examinées précédemment). Ainsi, on prend généralement :

$$q = \gamma H \text{ (N/m}^2\text{)}$$

H peut varier de la seule hauteur du banc du toit immédiat (h), jusqu'à la totalité du recouvrement (en fonction essentiellement de la raideur du recouvrement, de l'extension de la zone exploitée et du taux de défrètement).

Les valeurs M_{\max} et V_{\max} ainsi calculées, ne doivent pas excéder les valeurs maximales admissibles par le premier banc du bas toit, M_L et V_L , sous peine d'entraîner sa rupture. Ces valeurs seuils sont déterminées grâce aux formules suivantes et aux résistances du matériau à la flexion et au cisaillement.

$$M_L = R_f \cdot h^2 / 6 \text{ (N.m)} \quad \text{et} \quad V_L = 2/3 R_Q \cdot h \text{ (N)}$$

où :

M_L : moment de flexion maximal admissible par le premier banc ;

V_L : effort maximal de cisaillement admissible par le premier banc ;

R_f : résistance du premier banc à la flexion. Elle représente la résistance à la traction des fibres extérieures de la poutre ;

R_Q : résistance du premier banc aux efforts de cisaillement ;

h : épaisseur du premier banc.

Ces formules donnent des estimations des efforts subis par la plaque. La comparaison entre M_{\max} et M_L et entre V_{\max} et V_L donne des indications sur la stabilité de l'édifice et sur le mécanisme de rupture le plus probable (flexion ou cisaillement).

3.2.2. Modèle de plaque rectangulaire (Timoshenko)

Ce type de modélisation est également appliqué, dans le cas de galeries isolées, selon le modèle de **plaque rectangulaire**, avec appuis simples ou bords encastés. On définit le paramètre b , qui prend en compte la profondeur (longueur) de la galerie par rapport à sa largeur entre appuis, L . Le principe de calcul exposé ci-dessus est le même en intégrant les valeurs L et b (rapport b/L) par des coefficients β et γ donnés dans les abaques correspondants.

Lorsque le rapport b/L tend vers l'infini ($b > 5L$), la solution se ramène au modèle de poutre standard ($M = 0,125 \cdot qL^2$ en appuis simples, et $M = 0,0833 \cdot qL^2$ sur bords encastés).

3.2.3. Les modèles de poutre (Obert - Duvall)

Les modèles de poutre peuvent s'appliquer en présence d'un premier banc assez épais (0,50 m au moins) affecté par une fracturation d'orientation constante. De plus, la largeur exploitée doit être inférieure au double de la profondeur. Ils sont plus particulièrement adaptés au cas des galeries isolées très rares en carrière. Pour pouvoir les appliquer aux exploitations par chambres et piliers, on ne prend pas comme longueur de poutre la largeur de la galerie mais plutôt la distance maximale séparant deux piliers (intersection de galerie). On utilise donc pour le cas des galeries isolées leur largeur L , sinon on prend la longueur de la diagonale du carrefour, $L\sqrt{2}$.

3.2.3.1. Modèle de poutre sur appuis simples

Pour de longues galeries d'exploitation, la solution proposée par les modèles de calcul classiques de résistance des matériaux est celle d'une poutre d'épaisseur h , uniformément chargée soit par son propre poids, soit par tout ou partie du recouvrement sur une hauteur H . Lorsqu'on considère la poutre en appuis simples sur les deux extrémités, on peut calculer, connaissant la géométrie de l'exploitation et l'épaisseur du premier banc, les moments de flexion et les efforts de cisaillements maximaux auxquels est soumis le toit.

$$M_{\max} = (\gamma H L^2) / 8 \quad \text{et} \quad V_{\max} = (\gamma H L) / 2$$

Comme pour le modèle précédent, on est amené à comparer les efforts de cisaillements et les moments de flexion maximaux avec la résistance du matériau à la flexion et au cisaillement.

En pratique, cette estimation a peu de valeur car les couches du toit sont généralement homogènes et, donc, mieux décrites par les poutres encastrees. Même en présence de failles, les contraintes horizontales et la friction des épontes en regard assurent à l'ensemble une cohésion non prise en compte dans le modèle sur appuis simples.

3.2.3.2. Modèle de poutre avec appuis encastres

Pour les roches bien litées, résistantes et peu fracturées, le modèle le plus adapté est celui d'une poutre encastree à ses extrémités, par le pilier et le banc qui la surplombe. Les formules des moments de flexion changent considérablement par rapport au cas précédent. Ils sont, en valeur absolue, plus faibles que pour le modèle avec appuis simples et atteignent une valeur maximale sur les bords de la plaque et non plus en son centre.

$$M_{\text{centre}} = (\gamma H L^2) / 24 \quad M_{\text{bords}} = - (\gamma H L^2) / 12 \quad V_{\text{max}} = (\gamma H L) / 2$$

Tout matériau ne présentant pas des résistances suffisantes pour pouvoir encaisser ces contraintes sera soumis à une rupture, soit par flexion, soit par cisaillement.

3.3. Les modèles relatifs à la résistance du mur

Une approche sommaire du comportement du mur est fourni pour le modèle d'un simple pied de pilier de forme carrée (Terzaghi et Peck, 1957) qui suggère que la pression maximale admissible par le mur pour éviter un poinçonnement est déterminée par la relation :

$$P_{\text{max}} = 7,4 R_Q$$

où :

P_{max} : pression maximale admissible par le mur,

R_Q : résistance du mur au cisaillement.

Si l'on considère généralement $R_Q = R_C / 2$, il vient :

$$P_{\text{max}} = 3,7 R_C$$

où :

R_C : résistance à la compression uniaxiale du mur.

En fait, cette formulation empirique apparaît quelque peu optimiste. Il est plus raisonnable d'adopter la relation ci-dessous, proposée par les spécialistes de calculs de fondations :

$$P_{\text{max}} = 3 R_C$$

4. RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUES

EVANS I., POMEROY C. D., BERENBAUM R. (1961) : The compressive strength of coal. Colliery Engng., n° 38, pp 126 à 128.

HERGET G. (1988) : Stresses in Rock. Balkema (ed.), 179 p.

HOLLAND C. T. (1973) : Pillar design for permanent and semi-permanent support of the overburden in coal mines. Proc. Of 9th Canadian Rock Mechanics Symp. (Montreal), pp 114 à 139.

HUSTRULID W. A. (1976) : A review of coal pillar strength formulas. Rock Mech., n° 8, pp 115 à 145.

OBERT L. et DUVALL W. (1967) : Roch Mechanics and the design of structures in rock. Wiley & sons, inc., 650 p.

TERZAGHI K. et PECK R. B. (1957) : Mécanique des sols appliquée aux travaux publics et au bâtiment. Dunod (ed.), Paris, 565 p.

TIMOSHENKO S. (1961) : Théorie des plaques et coques, Ed. Béranger, 1961, 579 p.

ANNEXE 7

*Evaluation de la stabilité des secteurs en chambres et piliers
abandonnés par calculs d'aire tribulaire*

Exploitation	Configuration TRVX1a (chambres et piliers abandonnés) - CONCESSION DE TOURVES
Objectif	Stabilité des piliers
Hypothèses	Poids volumique des terrains fixé à 25 kN/m3
	Ouverture des travaux prise sécuritairement à 5 m lorsqu'elle n'est pas connue

Paramètres de calcul		Tourves-B (secteur sud)	Tourves-B (secteur centre-est = Tourves-B)	Descenderie Trainage mécanique	Descenderie Callas (secteur ouest) = Tourves-C	Descenderie Callas (secteur est)	Baume Nord (secteur ouest)	Baume Nord (secteur centre et est) = Tourves-D
Largeur galerie (m)	lg	6	6	7	7	5	4	10
Largeur pilier (m)	lp	6	6	4	4	5	7	2,5
Longueur pilier (m)	Lp	7	7	8	5	5	10	3
Ouverture (m)	w	4	4	5	3,5	5	5	7
Elancement (sans unité)	El	0,7	0,7	1,25	0,9	1,0	0,7	2,8
Profondeur min (m)	Hmin	65	40	40	45	60	20	30
Profondeur max (m)	Hmax	90	60	40	70	110	35	50
Profondeur retenue (m)	Hr	85	60	40	65	100	30	45
Taux défruitement (%)	τ	73%	73%	81%	85%	75%	55%	95%
Sollicitation sur les piliers = Qn moy. Standard = p.g.H/1-τ (MPa)	Qn	7,9	5,6	5,2	10,7	10,0	1,7	24,4

Valeurs de résistance								
Rc (MPa)	Rc	55	55	55	55	55	55	55
Re (MPa)	Re voisin de Rc pour une roche dure	50	50	50	50	50	50	50

Coefficients d'effets à long terme								
K1 Temps	K1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
K2 Echelle	K2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
K3 Elancement	K3	1,1	1,1	1	1,1	1,1	1,1	0,9

K1 : Meudon : Ru=0,85Re et Jonzac : Ru=0,75Re

K2 : Meudon : Rmassif=0,8Rlab et Herget : Rmassif=0,7Rlab

K3 : K3>1 avec El<1 ; K3=1 avec El ∈ [1-1,25] ; K3<1 avec El>1,25

Calculs des résistances limites (Ru)								
Ru=(2/3)Re	Ru	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3
Ru=K1*K2*K3*Re (INERIS)	Ru	22	22	20	19,3	22	22	18
Ru=Rc/5 (REX)	Ru	11	11	11	11	11	11	11

Détermination du facteur de sécurité (Fs)								
Ru/Qn	Fs=(2/3)Re / Qn	4,2	6,0	6,5	3,1	3,3	20,2	1,4
Ru (INERIS) / Qn	Fs=K1*K2*K3*Re / Qn	2,4	3,5	3,4	1,8	1,9	11,7	0,6
Ru (REX) / Qn	Fs=(1/5)Rc / Qn	1,4	2,0	2,1	1,0	1,1	6,7	0,5

Exploitation	Configuration TRVX1a (chambres et piliers abandonnés) - PEX DE MAZAUGUES
Objectif	Stabilité des piliers
Hypothèses	Poids volumique des terrains fixé à 25 kN/m3
	Ouverture des travaux prise sécuritairement à 5 m lorsqu'elle n'est pas connue

Paramètres de calcul		Aval Lentille 4	Aval Lentille 3	Aval Lentille 2	Aval Lentille 1	Baume Sud (secteur Est)	Baume Sud (secteur Sud)	Baume Sud (Stot RD64)	Stot descenderies « Les Fouilles Ouest » = Mazaugues-B
Largeur galerie (m)	lg	7	5	5	5	7	8	7	5
Largeur pilier (m)	lp	15	13	5	5	4	5	13	5
Longueur pilier (m)	Lp	15	15	8	25	5	7	20	5
Ouverture (m)	w	5	5	5	5	5	5	5	4
Elancement (sans unité)	El	0,3	0,4	1	1	1,1	1,0	0,4	0,8
Profondeur min (m)	Hmin	140	200	290	135	65	130	65	20
Profondeur max (m)	Hmax	215	215	320	235	125	140	125	50
Profondeur retenue (m)	Hr	195	210	300	215	100	135	100	50
Taux défruitement (%)	τ	54%	46%	69%	58%	85%	82%	52%	75%
Sollicitation sur les piliers = Qn moy. Standard = p.g.H/1-τ (MPa)	Qn	10,5	9,7	24,4	12,9	16,5	18,8	5,2	5

Valeurs de résistance		Rc (MPa)	Re (MPa)	K1 Temps	K2 Echelle	K3 Elancement
Rc (MPa)	Rc	55	55	0,7	0,5	1,1
Re (MPa)	Re voisin de Rc pour une roche dure	50	50	0,5	0,5	1,1

Coefficients d'effets à long terme		K1 Temps	K2 Echelle	K3 Elancement
K1 Temps	K1	0,7	0,5	1,1
K2 Echelle	K2	0,5	0,5	1,1
K3 Elancement	K3	1,1	1,1	1,1

K1 : Meudon : Ru=0,85Re et Jonzac : Ru=0,75Re

K2 : Meudon : Rmassif=0,8Rlab et Herget : Rmassif=0,7Rlab

K3 : K3>1 avec El<1 ; K3=1 avec El ∈ [1-1,25] ; K3<1 avec El>1,25

Calculs des résistances limites (Ru)		Ru								
Ru=(2/3)Re	Ru	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3
Ru=K1*K2*K3*Re (INERIS)	Ru	22	22	20	20	17,5	20	22	19,3	19,3
Ru=Rc/5 (REX)	Ru	11	11	11	11	11	11	11	11	11

Détermination du facteur de sécurité (Fs)		Fs								
Ru/Qn	Fs=(2/3)Re / Qn	3,2	3,4	1,4	2,6	2,0	1,8	6,4	6,7	6,7
Ru (INERIS) / Qn	Fs=K1*K2*K3*Re / Qn	1,8	2,0	0,7	1,4	1,1	0,9	3,7	3,9	3,9
Ru (REX) / Qn	Fs=(1/5)Rc / Qn	1,0	1,1	0,5	0,9	0,7	0,6	2,1	2,2	2,2

Exploitation	Configuration TRVX1a (chambres et piliers abandonnés) - CONCESSION DE TOURVES
Objectif	Stabilité des piliers
Hypothèses	Poids volumique des terrains fixé à 25 kN/m3 Ouverture des travaux prise sécuritairement à 5 m lorsqu'elle n'est pas connue

Paramètres de calcul		St Julien Lentille 2	St Julien Lentille 1	St Julien (Ouest)
Largeur galerie (m)	lg	5	8	8
Largeur pilier (m)	lp	5	4	3
Longueur pilier (m)	Lp	5	5	5
Ouverture (m)	w	5	6	4
Elancement (sans unité)	EI	1,0	1,5	1,3
Profondeur min (m)	Hmin	115	50	35
Profondeur max (m)	Hmax	135	70	50
Profondeur retenue (m)	Hr	125	55	45
Taux défrètement (%)	τ	75%	87%	90%
Sollicitation sur les piliers = Qn moy. Standard = $\rho \cdot g \cdot H / (1 - \tau)$ (MPa)	Qn	12,5	10,7	10,7

Valeurs de résistance				
Rc (MPa)	Rc	55	55	55
Re (MPa)	Re voisin de Rc pour une roche dure	50	50	50

Coefficients d'effets à long terme				
K1 Temps	K1	0,7	0,7	0,7
K2 Echelle	K2	0,5	0,5	0,5
K3 Elancement	K3	1	0,9	0,9

K1 : Meudon : $R_u = 0,85R_e$ et Jonzac : $R_u = 0,75R_e$

K2 : Meudon : $R_{massif} = 0,8R_{lab}$ et Herget : $R_{massif} = 0,7R_{lab}$

K3 : $K_3 > 1$ avec $EI < 1$; $K_3 = 1$ avec $EI \in [1-1,25]$; $K_3 < 1$ avec $EI > 1,25$

Calculs des résistances limites (Ru)				
$R_u = (2/3)R_e$	Ru	33,3	33,3	33,3
$R_u = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot R_e$ (INERIS)	Ru	20	18	18
$R_u = R_c / 5$ (REX)	Ru	11	11	11

Détermination du facteur de sécurité (Fs)				
R_u / Q_n	$F_s = (2/3)R_e / Q_n$	2,7	3,1	3,1
R_u (INERIS) / Q_n	$F_s = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot R_e / Q_n$	1,4	1,5	1,5
R_u (REX) / Q_n	$F_s = (1/5)R_c / Q_n$	0,9	1,0	1,0

ANNEXE 8

*Approche volumétrique déterministe de la hauteur de remontée
de cloche de fontis*

Nous avons estimé la hauteur maximale de remontée de fontis à partir d'un modèle de calcul prenant en compte en particulier les caractéristiques géométriques des cavités résiduelles (V_g), le coefficient de foisonnement (k) et l'angle de talus naturel des terrains constituant le recouvrement (cf. [5]).

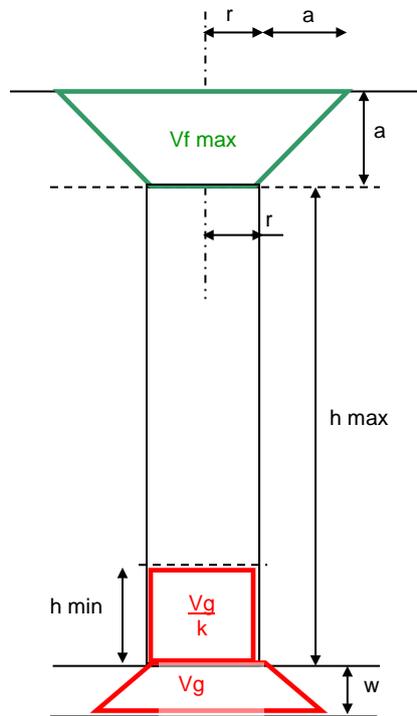


Figure 1 : Modélisation de la formation d'un fontis

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

1. Dimensions des vides résiduels

- l'ouverture des galeries (W) prise à 2 m maximum ;
- la largeur des galeries est prise à 2 m maximum ;
- l'absence de remblayage pour les galeries et travers-bancs.

2. Comportement du matériau éboulé

- le coefficient de foisonnement (k) est un paramètre qui caractérise l'augmentation du volume des matériaux remaniés ou éboulés. Seul le recouvrement rocheux calcaire présentant une cohérence mécanique sera pris en compte. Nous retenons par expérience et suivant la classification R.T.R (Recommandations pour les Terrassements Routiers¹¹) une valeur de foisonnement pour ces roches comprise entre 1,3 et 1,5. Les terrains non cohésifs et non foisonnants en surface dont l'épaisseur est estimée à 1 m ne sont pas pris en compte dans les calculs.
- un angle de talus naturel de 45° . Cela caractérise la mise en place du matériau une fois éboulé dans le vide minier.

¹¹ Recommandations pour les Terrassements Routiers (RTR). SETRA et LCPC. 1976. Les coefficients de foisonnement retenus pour les schistes varient de 1,3 à 1,5, gamme de valeurs en accord avec les valeurs du guide et suffisamment sécuritaire.

L'expérience montre que le fontis s'initie sur une largeur très proche de la largeur totale de la galerie. Pour rester sécuritaire, la largeur prise en compte variera de 80% à 100% de celle du vide.

Les tableaux suivants présentent les résultats obtenus en faisant varier les différents paramètres. Les calculs ont été réalisés à partir d'une feuille de calcul Excel développée par l'INERIS (cf. [5]).

Exploitations	Hauteur de galeries (m)	Largeur en pied (m)	Rayon au toit du fontis (m)	Hauteur remontée (m)
Rougiers	1,5	1,5	0,8	10
	1,5	1,5	0,6	14
	1	1,5	0,8	6
	1	1,5	0,6	8
Tourves	3	4	2	17
	3	4	1,6	24
	3	2,5	1,3	23
	3,5	2,5	1,3	29
	2	2	1	14
	2	2	0,8	19
Mazaugues	3,5	3,5	1,8	24
	3,5	4	2	22
	2,5	2,5	1,3	17
	2,5	2,5	1	24
	3	3	1,5	20
	3	3	1,2	28
	3	2,5	1,3	23
	2	2,5	1,3	12
Saint Julien	2	2,5	1	16
	2,5	3	1,5	15
	2,5	3	1,2	21
	3	2,5	1,3	23
	2	2	1	14
	2	2	0,8	19
	3	3	1,5	20
Engardin	3	3	1,2	28
	2	2	1	14
	2	2	0,8	19
	2,5	3	1,5	15
	2,5	3	1,2	21
	1,5	1,5	0,8	10
Pourraques	1,5	1,5	0,6	14
	2	1,5	0,8	16
	2	1,5	0,6	23
	1,5	1,5	0,8	10
	1,5	1,5	0,6	14
Merlançon	2	2	1	14
	2	2	0,8	19

Tableau 1 : Cas des galeries ou descenderies d'inclinaison < 30° (modèle cylindrique)

Type de galerie	Hauteur de galerie (en mètre)	Largeur de galerie (en mètre)	Longueur de galerie (en mètre)	Pendage (en °)	Rayon au toit du fontis (en mètre)	Hauteur de remontée (en mètre)
Descenderies ou galeries à 30°	2	2	60	30	0.8	29
	3	3	60	30	1.2	31
Descenderie plus pentée	5	5	75 ?	36	2.5	45
					2	49
	3.5	3.5	50	40	1.75	35
					1.4	37

Tableau 2 : Cas descenderies d'inclinaison > 30° (modèle cylindrique)

Exploitations	Hauteur de galeries (m)	Largeur en pied (m)	Rayon au toit du fontis (m)	Hauteur remontée (m)
Mazaugues	1,5	6,5	4,6	5
	1,5	6,5	3,7	6
	3	5	3,5	15
	3	5	2,8	19
	6	5	3,5	45
Tourves	5	5	3,5	34
	5	5	2,8	45
	6,5	5	3,5	52
Vieux travaux (prof. < 30 m)	1	1	0,7	7
	1	1	0,6	9
	2,5	1	0,7	32
	1	10	7,1	3
	1	10	5,7	3
	2,5	10	7,1	9
	2,5	10	5,7	10
	5	10	7,1	23
	5	10	5,7	28
5	10	4	94	

Tableau 3 : Cas des chambres et piliers abandonnés (modèle cylindrique)

Epaisseurs moyennes des bancs (m)	Largeur de chambres (m)	Résistance en flexion (MPa)	Hauteurs de remontée de voûte (m)
0,4	10	10	4,8
0,5	10	10	4
0,8	10	10	2,4
1	10	10	2
0,4	15	10	16
0,5	15	10	13
0,8	15	10	8
1	15	10	6
0,4	10	5	9,6
0,5	10	5	7,5
0,8	10	5	4,8
1	10	5	4
0,4	15	5	32
0,5	15	5	25,5
0,8	15	5	16
1	15	5	13

(*) Poids volumique des terrains pris à 25 kN/m² et en tenant compte d'un coefficient de sécurité de 1,5

Tableau 4 : Estimations des hauteurs de remontée de voûte pour les chambres et piliers abandonnés en plateure ou peu pentées (modèle rupture de bancs)

ANNEXE 9

*Synthèse de l'évaluation des niveaux d'aléa à l'effondrement
localisé lié aux puits*

Id	Nom	Titre	Rôle	Mécanisme de débouillage					Mécanisme de rupture de tête			Accidento-logie (désordre)	Niveau de prédisposition à l'effondrement localisé	Niveau d'intensité	Niveau d'aléa
				Traitement	Profondeur (m)	Recettes	Eau	Niveau de prédisposition au débouillage	Revêtement	Terrains encaissant	Niveau de prédisposition à la rupture de tête				
P12	Puits des Pompes	Engardin	Exhaure	Inconnu Supposé remblayé	~ 270	1	Inconnu	Sensible	Inconnu	Calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P13	Puits des Ouettes	Engardin	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	13	1	Inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	légère depression	Peu sensible	Modérée	Faible
P7	Puits d'érage Mazaugues Aval	Mazaugues	Aérage	Vide sous dalle	122	1	Inconnu	Sans objet	Bétonné	calcaire	Sensible	non	Sensible	Modérée	Moyen
P8	Puits D	Mazaugues	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	14	1	Inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P74	Puits E	Mazaugues	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	14	1	Inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P75	Puits F	Mazaugues	Aérage	Inconnu Supposé remblayé	3	1	Non	Très peu sensible	Inconnu	calcaire	Très peu sensible	inconnu	Très peu sensible	Modérée	Faible
P76	Puits A	Mazaugues	Aérage	Inconnu Supposé remblayé	11	1	Inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P175	Puits B	Mazaugues	Aérage	Inconnu Supposé remblayé	6	1	Non	Très peu sensible	Inconnu	calcaire	Très peu sensible	inconnu	Très peu sensible	Modérée	Faible
P70	Puits de Merlançon	Merlançon	Exploitation	Vide sous dalle	72	3	Oui	Sans objet	Inconnu	calcaire	Très sensible	non	Très sensible	Modérée	Fort
P73	Puits de Fontlade	Merlançon	Exploitation	Vide sous dalle	85	2	Inconnu	Sans objet	Inconnu	calcaire	Très sensible	non	Très sensible	Modérée	Fort
P78	Puits n°78	Merlançon	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	47	1	Inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P145	Puits de Pelicon	Pourraques	Exploitation	Inconnu Supposé remblayé	212	5	Non	Très sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Très sensible	Modérée	Fort
P148	Puits n°148	Pourraques	Exploitation	Inconnu Supposé remblayé	< 10	1	Non	Très peu sensible	Inconnu	calcaire	Très peu sensible	inconnu	Très peu sensible	Modérée	Faible
P149	Puits n°149	Pourraques	Exploitation	Inconnu Supposé remblayé	< 10	1	Non	Très peu sensible	Inconnu	calcaire	Très peu sensible	inconnu	Très peu sensible	Modérée	Faible
P150	Puits n°150	Pourraques	Exploitation	Inconnu Supposé remblayé	~ 10	1	Non	Très peu sensible	Inconnu	calcaire	Très peu sensible	inconnu	Très peu sensible	Modérée	Faible
P151	Puits n°151	Pourraques	Exploitation	Remblayé Pas de contrôle connu	~ 15	1	Non	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible

Id	Nom	Titre	Rôle	Mécanisme de débouillage					Mécanisme de rupture de tête			Accidento-logie (désordre)	Niveau de prédisposition à l'effondrement localisé	Niveau d'intensité	Niveau d'aléa
				Traitement	Profondeur (m)	Recettes	Eau	Niveau de prédisposition au débouillage	Revêtement	Terrains encaissant	Niveau de prédisposition à la rupture de tête				
P155	Puits n°155	Pourraques	Recherche	Inconnu Supposé remblayé	Inconnu (couche entre 15 m et 25 m)	0 (borgne)	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P189	Remontée n°2	Pourraques	Exploitation	Inconnu Supposé remblayé	13	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P190	Remontée n°1	Pourraques	Exploitation	Inconnu Supposé remblayé	~ 10	1	inconnu	Très peu sensible	Inconnu	calcaire	Très peu sensible	inconnu	Très peu sensible	Modérée	Faible
P86	Puits n°86	Rougiers	Recherche / Exploitation ?	Inconnu Supposé remblayé	< 20	≤ 1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P87	Puits n°87	Rougiers	Recherche / Exploitation ?	Inconnu Supposé remblayé	< 20	≤ 1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P99	Puits n°99	Rougiers	Recherche / Exploitation ?	Inconnu Supposé remblayé	< 20	≤ 1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P100	Puits n°100	Rougiers	Recherche / Exploitation ?	Inconnu Supposé remblayé	< 20	≤ 1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P101	Puits n°101	Rougiers	Recherche / Exploitation ?	Inconnu Supposé remblayé	< 20	≤ 1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P102	Puits n°102	Rougiers	Recherche / Exploitation ?	Inconnu Supposé remblayé	< 20	≤ 1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P9	Puits n°9	Saint-Julien	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	23	1	inconnu	Peu sensible	Roche nue	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P10	Puits n°10	Saint-Julien	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	17	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P11	Puits d'aérage de Vautruite	Saint-Julien	Aérage	Remblayé + dallé Pas de contrôle connu	~ 55	1	inconnu	Sensible	Roche nue	calcaire	Peu sensible	Inconnu	Sensible	Modérée	Moyen
P55	Puits n°55	Saint-Julien	Exploitation	Remblayé Pas de contrôle connu	< 10	1	Non	Très peu sensible	Inconnu	calcaire	Très peu sensible	inconnu	Très peu sensible	Modérée	Faible
P117	Puits n°117	Saint-Julien	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	~ 10	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible

Id	Nom	Titre	Rôle	Mécanisme de débouillage					Mécanisme de rupture de tête			Accidento-logie (désordre)	Niveau de prédisposition à l'effondrement localisé	Niveau d'intensité	Niveau d'aléa
				Traitement	Profondeur (m)	Recettes	Eau	Niveau de prédisposition au débouillage	Revêtement	Terrains encaissant	Niveau de prédisposition à la rupture de tête				
P118	Puits n°118	Saint-Julien	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	27	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P1	Puits Tourtin-Audibert	Tourves	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	46	1	oui	Sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	fort battement de nappe annuel	Sensible	Modérée	Moyen
P2	Puits I	Tourves	Aérage	Vide sous dalle	40	1	oui	Sans objet	Bétonné	calcaire	Sensible	non	Sensible	Modérée	Moyen
P3	Puits n°3	Tourves	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	35	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P4	Puits II	Tourves	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	40	1	inconnu	Peu sensible	Bétonné	calcaire	Très peu sensible	légère dépression	Peu sensible	Modérée	Faible
P5	Puits Callas 1	Tourves	Recherche / Aérage	Vide	8	1	inconnu	Sans objet	Maçonné	calcaire	Sensible	non	Sensible	Modérée	Moyen
P6	Puits UB	Tourves	Aérage	Inconnu Supposé remblayé	45	1	inconnu	Sensible	Maçonné	calcaire	Peu sensible	Tassement remblais sur 1,5 m	Sensible	Modérée	Moyen
P97	Puits n°97	Tourves	Recherche	Inconnu Supposé remblayé	15	≤ 1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P98	Puits n°98	Tourves	Recherche	Inconnu Supposé remblayé	10	≤ 1	inconnu	Très peu sensible	Inconnu	calcaire	Très peu sensible	inconnu	Très peu sensible	Modérée	Faible
P103	Puits n°103	Tourves	Recherche	Inconnu Supposé remblayé	~ 40	0 (borgne)	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P104	Puits n°104	Tourves	Recherche	Inconnu Supposé remblayé	10	≤ 1	inconnu	Très peu sensible	Inconnu	calcaire	Très peu sensible	inconnu	Très peu sensible	Modérée	Faible
P105	Puits Konler	Tourves	Aérage / Exploitation ?	Remblayé Pas de contrôle connu	~ 40	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P108	Puits Callas 2	Tourves	Exploitation	Remblayé Pas de contrôle connu	~ 10	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Très peu sensible	Légère dépression	Peu sensible	Modérée	Faible
P110	Puits de la Baume Nord n°2	Tourves	Exploitation	Remblayé Pas de contrôle connu	45	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	Légère dépression	Peu sensible	Modérée	Faible
P111	Puits n°111	Tourves	Exploitation	Inconnu Supposé remblayé	~ 15	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P115	Puits n°115	Tourves	Aérage	Remblayé Pas de contrôle connu	35	1	inconnu	Sensible	Bétonné	calcaire	Très peu sensible	Tassement remblais sur 1,2 m + fort battement de nappe	Sensible	Modérée	Moyen

Id	Nom	Titre	Rôle	Mécanisme de débouillage					Mécanisme de rupture de tête			Accidento-logie (désordre)	Niveau de prédisposition à l'effondrement localisé	Niveau d'intensité	Niveau d'aléa
				Traitement	Profondeur (m)	Recettes	Eau	Niveau de prédisposition au débouillage	Revêtement	Terrains encaissant	Niveau de prédisposition à la rupture de tête				
												annuel			
P182	Puits de la Baume Nord n°1	Tourves	Exploitation	Remblayé Pas de contrôle connu	35	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P184	Puits n°184	Tourves	Recherche	Inconnu Supposé remblayé	~ 50	0 (borgne)	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible
P185	Puits n°185	Tourves	Aérage	Inconnu Supposé remblayé	~ 40	1	inconnu	Peu sensible	Inconnu	calcaire	Peu sensible	inconnu	Peu sensible	Modérée	Faible

