

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

# **Concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols, Rébésou, Fontcouverte et Mas Taulelle (Gard) Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain**

**RAPPORT S 2016/019DE - 16LRO34020**

Date : 12/05/2016



# Concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols, Rébésou, Fontcouverte et Mas Taulelle (Gard) Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain

**RAPPORT S 2016/019DE - 16LRO34020**

Diffusion :

Pôle Après-Mine Sud

DREAL Languedoc-Roussillon

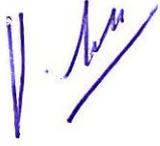
*(2 ex. papier complets, 1 jeu de cartes papier + 6 CD)*

GEODERIS

Jehan GIROUD

Philippe CHARTIER

Rafik HADADOU

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	F. SAMARCQ	C. VACHETTE	C. VACHETTE
Visa			



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Cadre et objectif</b> .....	3
<b>2</b>	<b>Définitions et méthodologie</b> .....	5
2.1	Définitions : aléa et risque .....	5
2.2	Méthodologie .....	5
2.3	Modalité d’affichage des aléas.....	6
<b>3</b>	<b>Résultats de l’étude</b> .....	7
3.1	Phase informative .....	7
3.1.1	<i>Situation géographique et géomorphologique</i> .....	7
3.1.2	<i>Les gisements et leur recouvrement</i> .....	7
3.1.3	<i>Les travaux miniers</i> .....	8
3.1.4	<i>Etat actuel des sites de travaux</i> .....	12
3.2	Phase d’évaluation des aléas.....	18
3.2.1	<i>Aléa effondrement localisé</i> .....	18
3.2.2	<i>Aléa affaissement progressif</i> .....	21
3.2.3	<i>Aléa tassement</i> .....	23
<b>4</b>	<b>Conclusion</b> .....	27

**Mots clés : Saint-Jean-de-Maruéjols, Rébésou, Fontcouverte, Mas Taulelle, Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan, calcaire asphaltique, bitume, Gard, aléas mouvements de terrain**



## 1 CADRE ET OBJECTIF

Les concessions pour bitumes de Saint-Jean-de-Maruéjols (30SM0093<sup>1</sup>), du Rébésou (30SM0083), de Fontcouverte (30SM0054) et du Mas Taulelle (30SM0070) sont situées sur la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan dans le département du Gard (Illustration 1).

Dans le cadre des DADT (Dossier d'Arrêt Définitif des Travaux) de ces quatre concessions, l'INERIS a réalisé pour le compte de la SFA (Société Française des Asphaltes) et de la SMAC ACIEROID, derniers exploitants, plusieurs études, dont des études d'aléa [4], [5], [6].

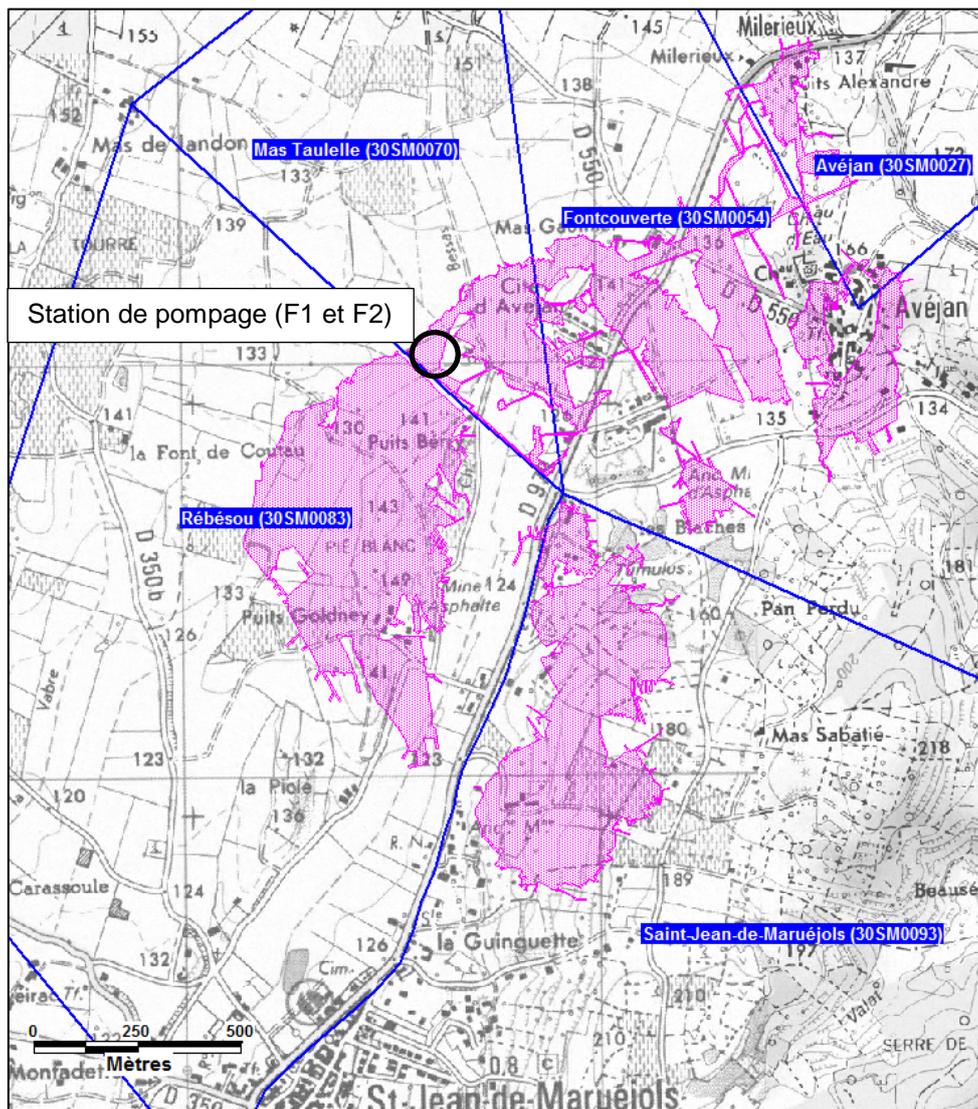
A la demande de la DREAL, lors de la réalisation de ces études d'aléa, l'INERIS avait tenu compte des contraintes réglementaires imposées par la structure des DADT mais également de la méthodologie d'établissement des études d'aléas miniers. Toutefois, ces études ont été réalisées en suivant le périmètre administratif concerné, à savoir les concessions minières, et sans suivre le formalisme actuel du SIG tel que demandé par GEODERIS pour les EDA.

L'objectif de la présente étude était de reprendre ces dossiers et de les convertir à la fois en un seul rapport autoporteur établi à l'échelle de la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan ainsi qu'en une base SIG, accompagnée des cartes informatives et d'aléas conformes aux modèles GEODERIS 2015.

Remarque : La zone d'étude jouxte, au nord, le périmètre de l'étude d'aléa de Barjac réalisée en 2008 (rapport référencé GEODERIS S 2009/35DE – 09LRO2210) concernant le lignite. La concession d'Avéjan, située en partie sur la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan, concerne cette exploitation des lignites de Barjac. Cette partie de concession a été incluse au périmètre de l'étude.

---

<sup>1</sup> Numéro de référence du titre dans la Base de Données des Sites et Titres Miniers (BDSTM) de GEODERIS



**Illustration 1 : Localisation des titres miniers concernés (limites bleues) et des enveloppes de travaux pour bitume. Situation de la station de pompage**

## 2 DEFINITIONS ET METHODOLOGIE

### 2.1 Définitions : aléa et 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 (Illustration 2).

Intensité	Prédisposition		
	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée	Faible	Faible	Moyen
Modérée	Faible	Moyen	Fort
Elevée	Moyen	Fort	Fort

*Illustration 2 : Grille de croisement intensité/prédisposition*

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...).

### 2.2 Méthodologie

Les différentes investigations des études détaillées des aléas sont réalisées dans le cadre méthodologique retenu pour les études des anciens sites miniers, conformément à la loi n° 99-245 du 30 mars 1999. Le déroulement d'une étude des aléas s'appuie sur la démarche établie dans le guide méthodologique d'élaboration des plans de prévention des risques miniers (rapport INERIS DRS-06-51198/R01). La réalisation d'une étude des aléas comprend deux phases successives, qui se traduisent chacune par un ou plusieurs documents cartographiques.

#### ✓ Une phase informative

Cette phase permet de récolter et de valoriser au mieux les informations issues des archives relatives à ces exploitations. La démarche a comporté les étapes suivantes :

- La consultation d'archives et l'enquête préalable : cette phase permet de recueillir les documents disponibles concernant le site étudié (plans, archives minières, rapports, cartes géologiques, etc.).

- Les visites de terrain, qui permettent d'observer des ouvrages miniers, des phénomènes d'instabilité puis de les intégrer dans l'interprétation de l'ensemble des données collectées. Elles permettent également de relever les mouvements apparents (récents ou passés) qui n'auraient pas été répertoriés dans les archives disponibles. Cette phase permet de valider le géoréférencement des plans de mines (sous le SIG MapInfo). Cette visite permet aussi d'interroger les riverains ayant une bonne connaissance du secteur.

Les résultats de cette phase sont représentés sur une carte informative ayant pour fond la BD Ortho® de l'IGN année 2010 à l'échelle 1/2000<sup>e</sup> (Annexe B).

#### ✓ **Une phase d'évaluation et de cartographie des aléas**

A partir des informations acquises à l'issue de l'étape précédente, une analyse des aléas mouvements de terrain a été réalisée sur les différents phénomènes identifiés sur le site. Elle a consisté à effectuer :

- un découpage en zones homogènes, établi selon les configurations d'exploitation et les aspects géologiques, géomorphologiques ou autres,
- une détermination des phénomènes attendus en surface, fondée sur les configurations identifiées et les désordres observés ou prévisibles.

Elle a pour objectif de réaliser :

- une évaluation de l'aléa par type de phénomène attendu, compte tenu de l'intensité et de la probabilité d'occurrence estimée,
- une cartographie des aléas mouvements de terrain sur les anciens travaux et ouvrages miniers.

L'enveloppe des zones affectées par les différents aléas est reportée sur fond de BD Ortho® de l'IGN année 2010 à l'échelle 1/2000<sup>e</sup> (Annexe C).

**Cas de l'étude de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan** : Dans le cas présent, les études liées aux DADT sont relativement récentes. En effet, ces études ont été réalisées entre 2007 et 2010 [4], [5], [6]. Dans ce cadre, l'INERIS avait réalisé :

- une analyse détaillée de toutes les sources d'archives disponibles ;
- des visites sur le terrain menées de façon exhaustives de manière à intégrer le maximum d'informations. L'INERIS avait de même réalisé les différents rapports de récolement des travaux de mise en sécurité demandés par la DREAL aussi bien pour la SFA que pour la SMAC.

Dans ces conditions, il n'a pas été nécessaire de réaliser de nouvelles campagnes d'archives et visites sur le terrain.

## **2.3 Modalité d'affichage des aléas**

La méthode de détermination et de tracé conduit à ce que, dans la zone d'étude, en dehors des zones ainsi déterminées et cartographiées, l'aléa est évalué comme nul. Précisons que l'aléa est non nul sur l'épaisseur du trait délimitant les zones d'aléa.

## 3 RESULTATS DE L'ETUDE

### 3.1 Phase informative

#### 3.1.1 Situation géographique et géomorphologique

Les travaux souterrains sont tous situés sur le territoire de la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan à l'aplomb des quatre concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols, de Rébésou, de Mas Taulelle et de Fontcouverte. Leur étendu est de l'ordre d'une soixantaine d'hectares. Les travaux miniers sont situés à 500 m au nord du village de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan (Illustration 1).

#### 3.1.2 Les gisements et leur recouvrement

Le gisement exploité correspond à 30 m de calcaires en plaquettes et de marnes feuilletées. Il appartient à une partie des calcaires asphaltiques du Ludien<sup>2</sup> inférieur.

Il se présente sous la forme d'une couche de 10 à 12 m de puissance, d'aspect lité, avec une imprégnation variable suivant les strates. La teneur moyenne en bitume est de 7 à 8 % avec des passages pouvant atteindre 13 % (Illustration 3).

Sur les secteurs de Rébésou, Fontcouverte et Mas Taulelle, seules les couches secondaires et tertiaires<sup>3</sup> ont été exploitées. L'épaisseur exploitable était de l'ordre 7 à 8 m.

Pour la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, la couche secondaire est nommée couche supérieure alors que la couche tertiaire est nommée couche inférieure. L'épaisseur exploitable était de l'ordre de 2 m sauf au puits Vian où elle atteignait 3 à 4 m.

La profondeur de la couche exploitée sur la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan varie de l'affleurement au sud-est, à 50 m de profondeur au niveau du village d'Avejan, et 110 m de profondeur au centre (puits Vian) et vers le nord ouest (Fontcouverte, Puits Alexandre). Les travaux s'approfondissent au sud de la concession de Mas Taulelle pour atteindre 220 m au nord de Rébésou (Puits Berry) puis 300 m au sud -ouest, au contact des failles de Barjac et Goldney.

D'après les sondages réalisés sur la concession de Rébésou, le recouvrement apparaît comme une alternance de marnes et de calcaires plus ou moins marneux.

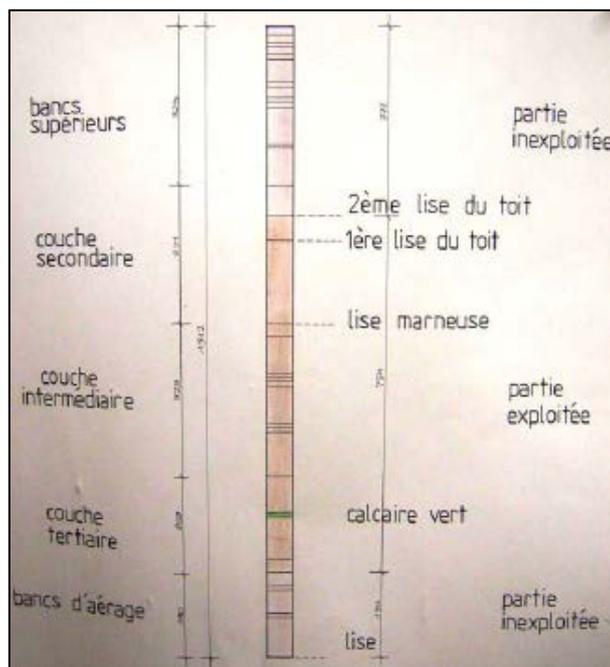
L'information récoltée lors du creusement des puits montre que les formations considérées comme massives et non altérées (au creusement) sont généralement rencontrées entre 1 et 2 m de profondeur.

Dans la suite de l'analyse, une épaisseur de terrains déconsolidés de 2 m en surface a été retenue.

---

<sup>2</sup> Le Ludien est une division de l'échelle des temps géologique appartenant à l'époque Eocène (de 56 à 33,9 Ma)

<sup>3</sup> Sur la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, la couche secondaire est appelée couche supérieure, la couche tertiaire est appelée couche inférieure.



**Illustration 3 : Coupe de la formation asphaltique de Rébésou au droit du puits Goldney**

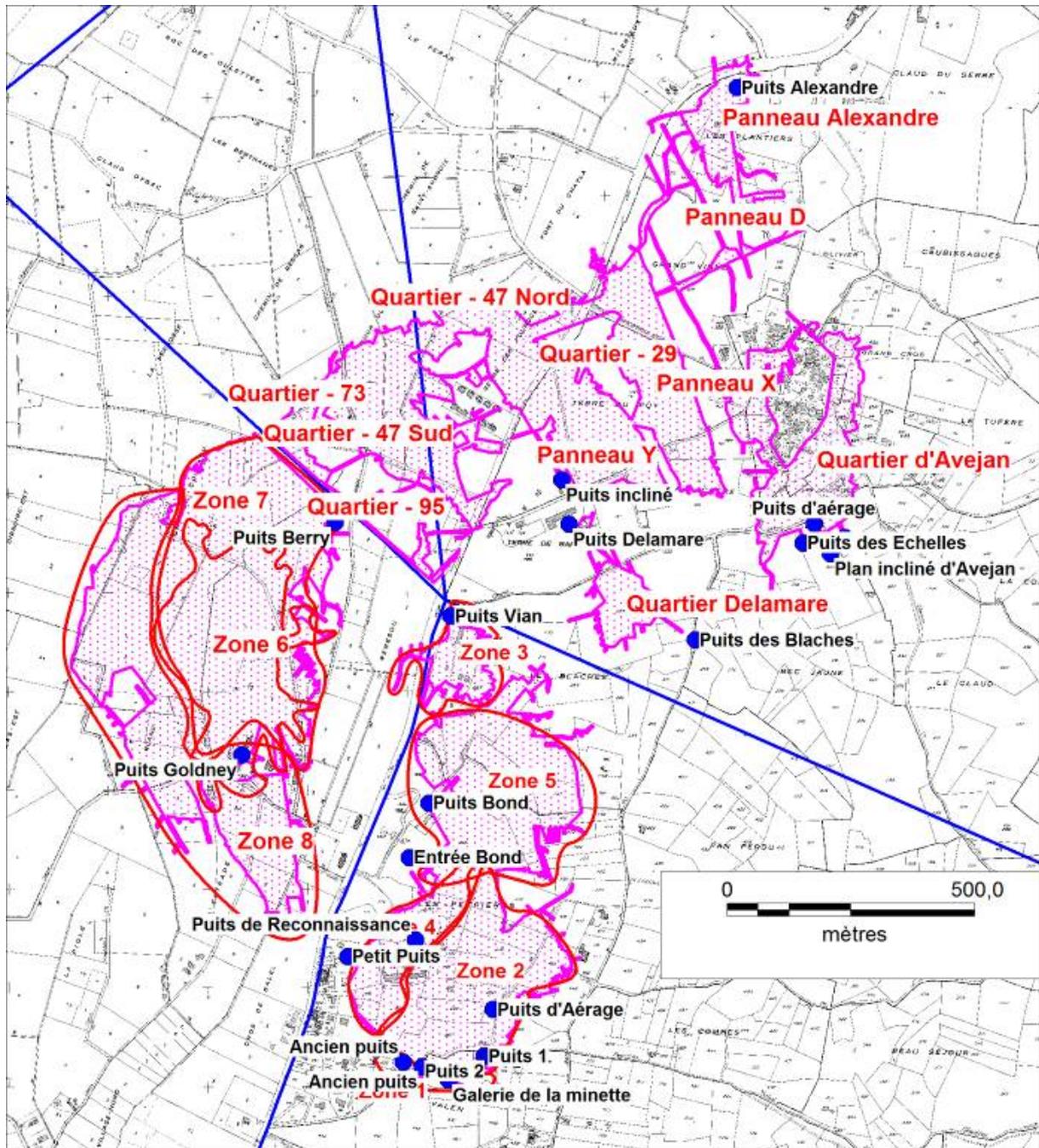
### 3.1.3 Les travaux miniers

Les **concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols** et de **Rébésou** ont été exploitées successivement de 1859 à 1932 pour la première, puis de 1932 à fin 2007, date d'arrêt des travaux souterrains pour la seconde.

L'exploitation dans les périmètres des **concessions de Fontcouverte** et de **Mas Taulelle** a débuté au sud et autour du village d'Avéjan, à partir du Plan Incliné d'Avéjan en 1903. Ce quartier a été exploité jusqu'en 1925. Il est resté isolé des autres travaux plus récents.

Les travaux souterrains ont majoritairement été réalisés sur une couche. Localement, des exploitations sur deux niveaux ont été menées, notamment sur la concession de Rébésou.

Les méthodes d'exploitation sont décrits par concession et par secteur en annexe A. Les illustrations 4 et 5 présentent les différents secteurs, zones, quartiers ou panneaux analysés et synthétisent les méthodes d'exploitation sur chacun.



**Illustration 4 : Localisation générale des secteurs de travaux**

	Zones	Méthode	Dates	Prof (min/max)	Largeur (m)	Ouverture (m)	Taux de défrètement
Concession de Saint-Jean-de-Maruéjols	Zone 1 ou Travaux de La Minette	Galerie isolée et travaux supposés	<1859 - 1866	0 - 20	1,5	1,5	-
	Zone 2 ou Travaux en chambres et piliers antérieurs à 1910	Chambres et piliers abandonnés, localement et/ou partiellement remblayés	1866 - 1910	0 - 60	8 - 10	1,5 - 2,2	-
	Zone 3 ou Travaux du puits Vian	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage des chambres	1908 - 1914	100 - 115	4 - 5	3 - 4	60 %
	Zone 4 ou Travaux du Petit Puits	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage des chambres	1914 - 1930	20 - 45	3 - 4 et 5 - 6	1,6	75 - 80 %
	Zone 5 ou Travaux du Puits Bond	Chambres et piliers abandonnés non remblayés	1904 - 1932	50 - 100	10	1,8	75 à 80 %
Concession de Rébésou	Zone 6 ou Travaux en chambres et piliers antérieurs à 1950	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage des chambres	1932 - 1950	220 - 280	4 - 5	2,5	75 %
	Zone 7 ou Travaux en chambres et piliers de 1950 à 1977 (zone 7)	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage de 45 % des chambres	1950 - 1977	220 - 280	5	3 - 4,5	75 à 80 %
	Zone 8 ou Travaux de 1977 à 1988	Traçage de galeries et larges piliers	1977 - 1988	-	-	3	75 %
	Partie sud-ouest de la zone 8	Ilots foudroyés	1988 - 2007	275 - 300	5	7,5	-

		Zones	Méthode	Dates	Prof (min/max)	Largeur (m)	Ouverture (m)	Taux de défructement	
Concessions de Fontcouverte et Mas Taulelle SMAC		Quartier d'Avéjan	Tailles chassantes remblayées (80 % de la surface exploitée). Chambres et piliers abandonnés, sans torpillage ni remblayage (20 % de la surface exploitée)	1920 - 1925	<50 m pour certaines zones	75	2,5	75 %	
		Travaux du puits Delamare	Traçage de galeries et de piliers. Dépilage très local (50 m <sup>2</sup> ) puis remblayage.	1907 - 1920	100	40	2,5	60 %	
		Travaux du Puits Alexandre	Traçage de galeries et de piliers.	1924 - 1934	70 - 110	80	4 – 4,5	-	
		Travaux du Puits Incliné	quartiers - 47 Nord, -47 Sud, -73, -29	Chambres et piliers abandonnés non remblayés probablement foudroyés naturellement (sans mécanisation)	1932-1970	160/230	60 à 160	4-5	70 %
			panneaux X et Y	Chambres et piliers probablement foudroyés naturellement (avec mécanisation)	1964-1994	100/140	60 à 110	7-8	60 à 80 %
		D et -95	Non exploités	-	-	-	-	-	

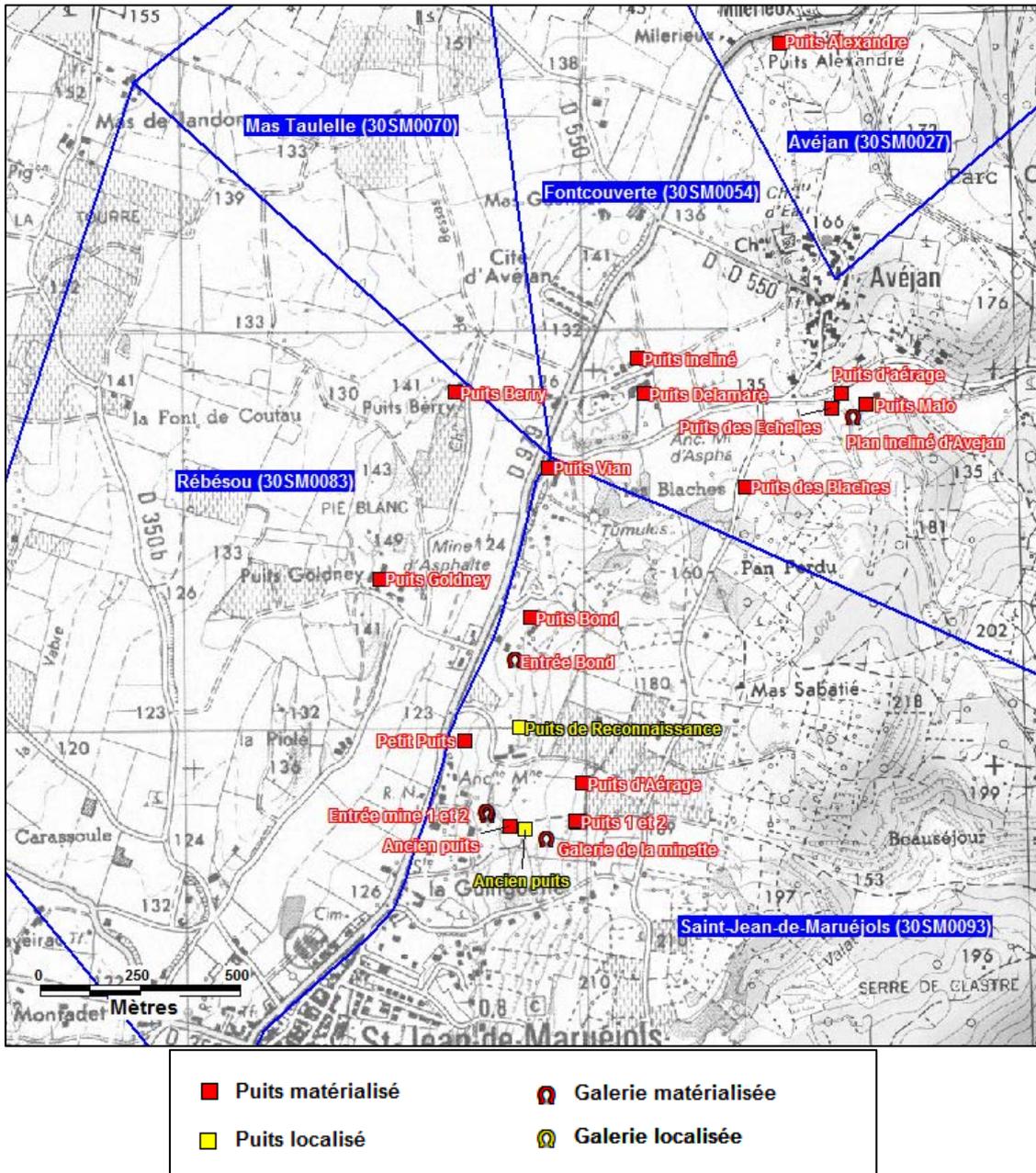
**Illustration 5 : Paramètres d'exploitation sur les différents secteurs**

### 3.1.4 Etat actuel des sites de travaux

#### 3.1.4.1 Les ouvrages débouchant au jour

Sur la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan, 23 ouvrages débouchant au jour ont été identifiés (Illustration 6). La majeure partie de ces ouvrages correspondent à des puits.

L'illustration 7 liste l'ensemble des ouvrages débouchant au jour relevés ainsi que leurs caractéristiques. Cette inventaire résulte des constatations de terrain réalisées à l'époque. La majorité de ces ouvrages n'est plus visible en 2015 compte tenu des travaux de comblement réalisés dans le cadre des procédures d'établissement des DADT.



**Illustration 6 : Répartition des ouvrages débouchant au jour**

Les ouvrages matérialisés sont ceux qui ont été observés et positionnés sur le terrain, alors que les ouvrages localisés sont ceux qui n'ont pas été observés sur le terrain et ont été positionnés d'après les plans miniers

N°	Nom ouvrage	Rôle	Concession	Matérialisé	Position	Diamètre	Profondeur	Commentaires
1	Puits Goldney	Exploitation	Rébésou	Oui	dGPS	4	276	Puits principal (1932-2007), entièrement remblayé et bouchon béton.
2	Puits Berry	Aéragé	Rébésou	Oui	dGPS	3,5	205	Puits de secours et d'aéragé (1935-2007), entièrement remblayé et bouchon béton.
3	Puits Bond	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	3	69	"Muraillé" jusqu'à au moins 50m de profondeur. En 2009, servait de point d'eau à la centrale béton proche. (1896-1932), connexion minière remblayée sur 10 m puis nouvelle dalle en tête réalisée en 2008.
4	Puits Vian	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	3,5	121	(1908-1914) "muraillé" au moins jusqu'à 71 m de profondeur. Remblayage de la colonne réalisé, bouchon béton pas encore réalisé en 2015 suite à contentieux avec la SFA.
5	Petit Puits	-	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	3	23	(1921-1932) "muraillé" sur 8 m puis directement au rocher. 3x2m sur 19 m puis 2x2m au-delà, entièrement remblayé et bouchon béton.
6	Entrée Bond	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	1,9 x 1,8	-	(1879-1905) Section semi-circulaire (H=1.9m, l=1.8m), "muraillé" sur au moins 35m de long. Entrée bouchée en béton puis remblayée.
7	Puits de Reconnaissance	Recherche	Saint-Jean-de-Maruéjols	Non	Calage	-	20	Recherche vers 1905. Positionné à partir d'un calage de plan d'archive. Dépression circulaire (D7) à proximité de l'emplacement supposé du puits. Situé sur terrain naturel en friche.
8	Puits d'Aéragé	Aéragé	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	-	26	Situé dans parcelle naturelle en friche. (<1869-1905). Dépression circulaire (D6) (5x5m) à l'emplacement du puits.
9	Puits 1	-	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	-	10	Situé dans parcelle naturelle en friche. Origine minière incertaine (<1869-1905).
10	Puits 2	-	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	-	10	Situé dans parcelle naturelle en friche. Origine minière incertaine (<1869-1905).
11	Galerie de la minette	Recherche	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	2 x 2	-	Entrée à l'affleurement. Etat galerie très dégradé (intérieur), 90m de longueur. Effondrée à la pelle puis remblayée.
12	Ancien puits	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Non	Calage	-	14	Calage plan d'archive. Situé dans parcelle naturelle en friche. Plusieurs fontis dans la parcelle voisine (15m au plus près de l'emplacement supposé du puits). (<1864-1905) Puits déjà cité comme "ancien" en 1904.
13	Ancien puits	-	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	3 x 3	10	Structure en pierre en demi-lune. Origine minière incertaine (peut-être réserve d'eau). Possible effondrement (aménagé) sur travaux (<10m de profondeur a priori).
14	Entrée mine 1	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	-	-	Cône de remblais récent déversé au-dessus de l'entrée. Période travaux miniers <1869-1905. Entrée invisible.
15	Entrée mine 2	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	-	-	Cône de remblais récent déversé au-dessus de l'entrée. Période travaux miniers <1869-1905. Entrée invisible.
16	Puits incliné	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	5	135	Puits incliné remblayé + bouchon béton 8m en tête + évent (2001). 270m de long à 45° = 135m de profondeur.
17	Puits Delamare	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	4,8	113,8	En 2000, puits remblayé + bouchon béton en tête (travaux définis par INERIS). Foncé en 1907, fin travaux vers 1920.
18	Puits des Blaches	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	4	65	En 2000, puits remblayé + bouchon béton de 6/7m en tête (travaux définis par INERIS). Foncé en 1916, fin travaux 1920.
19	Puits des Echelles	-	Fontcouverte	Oui	dGPS	1.5	13	Puits remblayé à l'abandon du quartier, complément béton en tête (4m) lors du DADT (2000). Autre source profondeur = 20m.
20	Puits d'aéragé	Aéragé	Fontcouverte	Oui	dGPS	1	17	Puits comblé à l'abandon du quartier. Complément 2m béton en tête au moment du DADT (2000).
21	Puits Malo	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	4	12	Puits comblé à l'abandon du quartier. Complément matériau en tête de puits au moment du DADT (2000). Galerie en pied remblayée aussi pour éviter débouillage.
22	Plan incliné d'Avejan	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	2,8	-	Ouvrage de 50 m de longueur. En 2000 (DADT), colonne entièrement comblé de tout venant. 3m de hauteur, 250m de longueur à 15%.
23	Puits Alexandre	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	5	108,8	En 2000/2001, puits entièrement remblayé + bouchon béton de 10m en tête + évent. Foncé à partir de 1922.

**Illustration 7 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des ouvrages débouchant au jour**



### 3.1.4.2 Les ouvrages de dépôts

Sur le secteur d'étude, les travaux souterrains ont produit peu de stériles en surface. En effet, tout au long des périodes d'exploitation, un triage régulier était réalisé au fond : les stériles étaient immédiatement employés pour le comblement des vides.

Les 3 seuls dépôts connus sont liés aux creusement de puits principaux (puits Berry, Goldney et Vian) (Illustration 8). Ces stériles ont servi à l'établissement de plates-formes, supports des bâtiments de la mine. Les pentes intégratrices sont proches de 30° au maximum.

Les ouvrages de dépôts sont principalement constitués de matériaux grossiers (calcaires, marnocalcaires...) avec peu de fines leur conférant ainsi un caractère plutôt drainant.

Ces matériaux sont considérés comme inertes et ne sont donc pas susceptibles d'entrer en combustion et encore moins être l'objet de dégagement gazeux, de feu ou d'explosion.

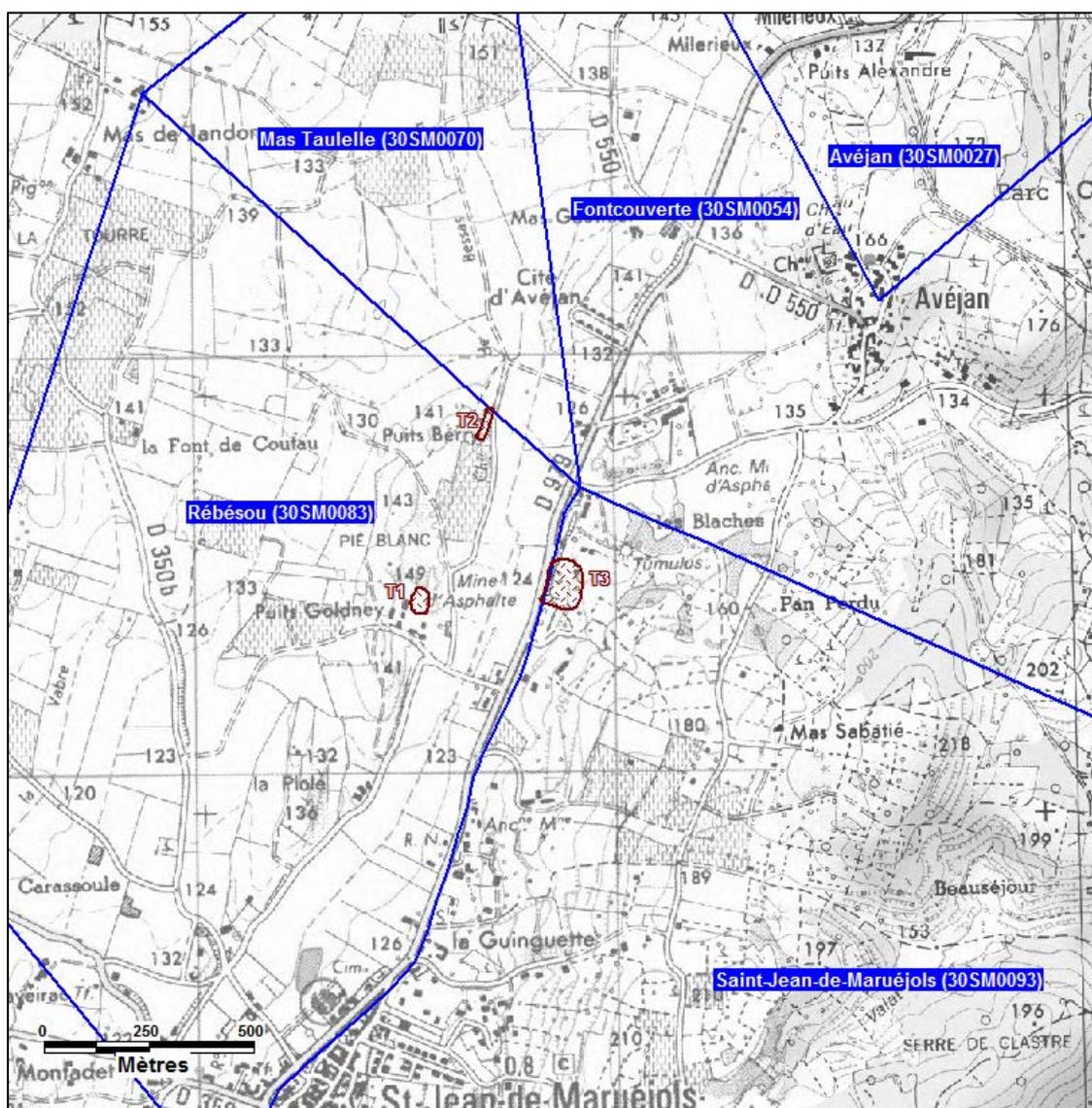


Illustration 8 : Répartition des ouvrages de dépôts (zones marrons)

### 3.1.4.3 Les désordres liés à l'exploitation

Pendant l'exploitation, deux désordres majeurs ont été identifiés. Il s'agit de deux coups de toit. Le premier a eu lieu en 1904 (D8) et est en lien avec les travaux souterrains de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols ; le second a eu lieu en 1977 (D9) et est en lien avec les travaux souterrains de la concession de Rébésou. Ces deux événements ont provoqué des affaissements en surface toujours actifs en 2009. Ils sont détaillés dans le rapport en annexe A.

Remarque : deux autres coups de toit en lien avec les travaux de la concession de Fontcouverte se seraient produit dans les années 1950 et 1960 mais il ne sont pas assez documentés dans les archives pour être détaillés.

A l'exception des mouvements de terrains de type affaissements ayant eu lieu pendant la période d'exploitation (D10 et D11), peu d'autres désordres ont été recensés. Les seuls désordres observés à l'occasion des études DADT, sont soit des dépressions dans les secteurs d'anciens puits soit des fontis dans le secteur de travaux à très faible profondeur de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols (Illustrations 9 et 10).

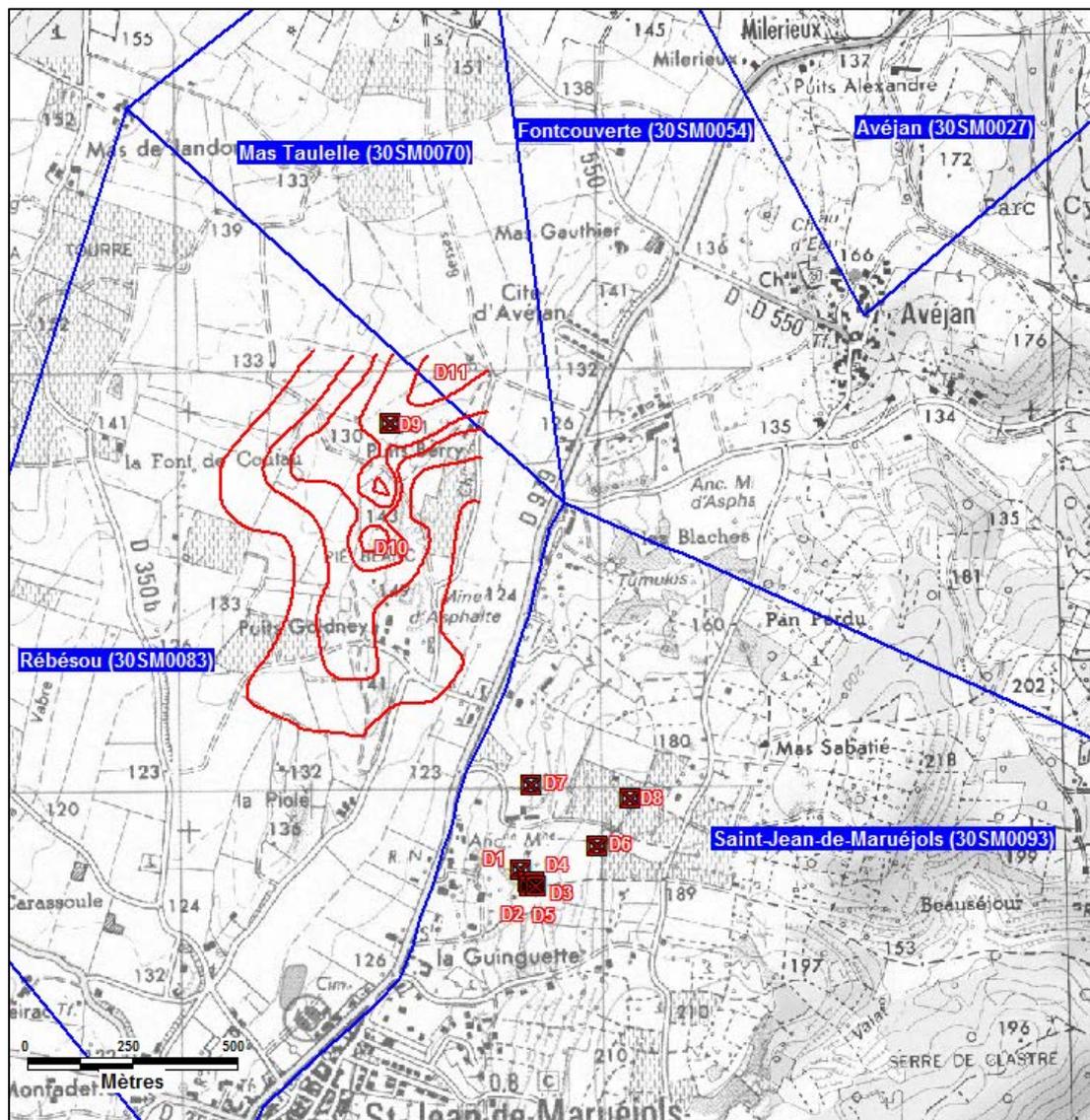


Illustration 9 : Répartition des désordres (symboles et zones rouges)

Nom	Type de désordre	Position	Longueur	Largeur	Profondeur	Remarque
D7	Effondrement localisé	dGPS	inconnue	inconnue	inconnue	Dépression marquée pouvant correspondre à un fontis dans les travaux ou à la position du puits de reconnaissance, ce dernier serait mal positionné sur les plans de mine.
D6	Effondrement localisé	dGPS	5	5	0.5	Dépression remplie de ronces à quelques mètres de l'emplacement supposé du puits d'aérage.
D1	Effondrement localisé	dGPS	5	5	0.75	Probablement fontis dans travaux à faible profondeur (pas d'ODJ recensé dans ce secteur).
D2	Effondrement localisé	dGPS	3	3	1.3	-
D3	Effondrement localisé	dGPS	4	4	0.5	-
D4	Effondrement localisé	dGPS	3	3	0.5	-
D8	Coup de toit	Archives	400	150	Travaux à moins de 50 m de profondeur	Coup de toit de 1904
D9	Coup de toit	Archives	300	300	Travaux entre 220 et 250 m de profondeur	Coup de toit de 1977
D10	Affaissement progressif	Archives	900	600	0,38 m	Affaissement entre 1977 et 1991, au droit des secteurs en chambres et piliers abandonnés ou partiellement remblayés
D11	Affaissement progressif	Archives	-	-	0,35 m	Affaissement entre 1967 et 1995, au droit des quartiers -73 et -95 partiellement exploités

**Illustration 10 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des désordres**

## 3.2 Phase d'évaluation des aléas

L'étude détaillée des aléas est réalisée selon le guide méthodologique (rapport INERIS DRS-06-51198/R01) 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 l'utilisation de l'adverbe « *notamment* ». Ceci implique que cette liste, quoique largement représentative des risques miniers, est non exhaustive et peut éventuellement être complétée.

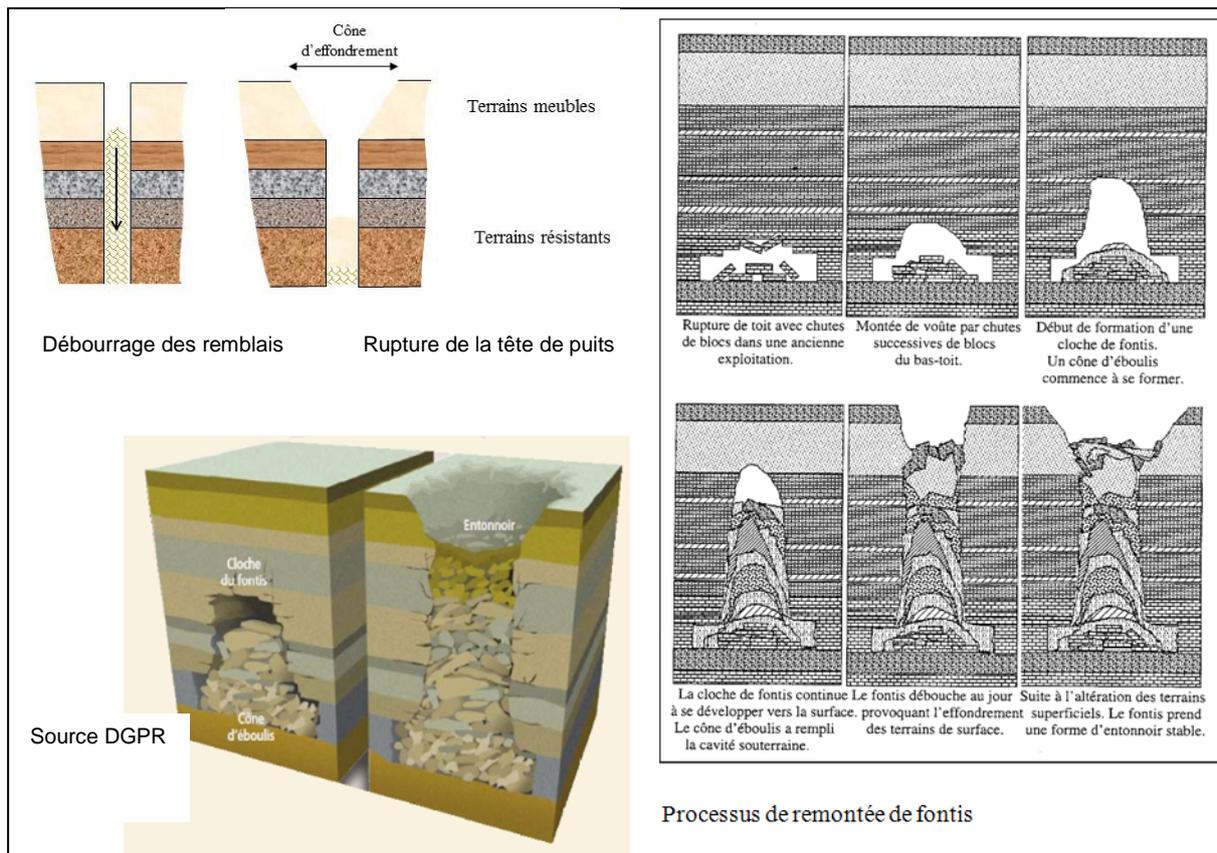
Seuls les aléas mouvement de terrains ont été évalués dans le cadre de la présente étude. Les aléas retenus sont l'affaissement progressif, l'effondrement localisé et le tassement.

On pourra se reporter à l'annexe A pour le détail des phénomènes et l'évaluation des aléas et à l'annexe C pour leur cartographie.

### 3.2.1 Aléa effondrement localisé

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

L'effondrement localisé peut être la conséquence soit de la remontée au jour d'un vide initié en profondeur (fontis sur galerie par exemple) ou encore de la rupture d'une colonne de puits (Illustration 11). Sur les sites étudiés, quelques désordres de ce type se sont déjà produits (§ 3.1.4.3).



**Illustration 11 : Schématisation des processus à l'origine des effondrements localisés**

On retiendra que pour les sites étudiés, les configurations favorables à ce type de phénomène sont les galeries et les secteurs exploités à faible profondeur (inférieure à 20 m). Ces configurations sont en effet favorables à la persistance éventuelle de vides souterrains susceptibles de remonter jusqu'au jour. Les orifices d'ouvrages sont également propices à des phénomènes de type débouillage ou éboulement de tête de puits.

Sur le secteur d'étude, l'aléa effondrement localisé a été retenu à l'aplomb des travaux souterrains peu profonds et autour des puits (Illustration 12, Annexe C).

→ Effondrement localisé lié aux puits

Lors de la phase informative, 18 puits ont été identifiés dans les archives et ont pu être positionnés sur la carte informative. Ces ouvrages correspondent à des puits d'exploitation, d'aérage et de recherche. Leur diamètre varie entre 1 et 5 m.

Pour ces ouvrages, nous avons retenu :

- ✓ un niveau moyen, croisement d'une intensité modérée avec une prédisposition sensible pour le puits Bond et le puits Vian, pour lesquels la sécurisation par bouchon béton n'a pas été finalisée,
- ✓ un niveau faible, croisement d'une intensité limitée avec une prédisposition sensible ou croisement d'une intensité modérée avec une prédisposition peu sensible pour les puits Echelles, puits d'aérage (ouvrages n° 8 et n° 20), puits Malo, les 2 anciens puits (ouvrages n°12 et n°13), les puits 1 et 2 et le puits de reconnaissance. Ces puits remblayés ont une profondeur de moins de 30 m.

Sept puits n'engendrent pas d'aléa. Il s'agit des puits sécurisés de façon pérenne par pose d'un bouchon béton précédé d'un remblayage complet de la colonne. Il s'agit des puits suivants : Puits Goldney, Berry, petit puits, puits incliné, Puits Delamare, Puits des Blaches, Puits Alexandre.

→ Effondrement localisé lié aux travaux situés à moins de 20 m de profondeur

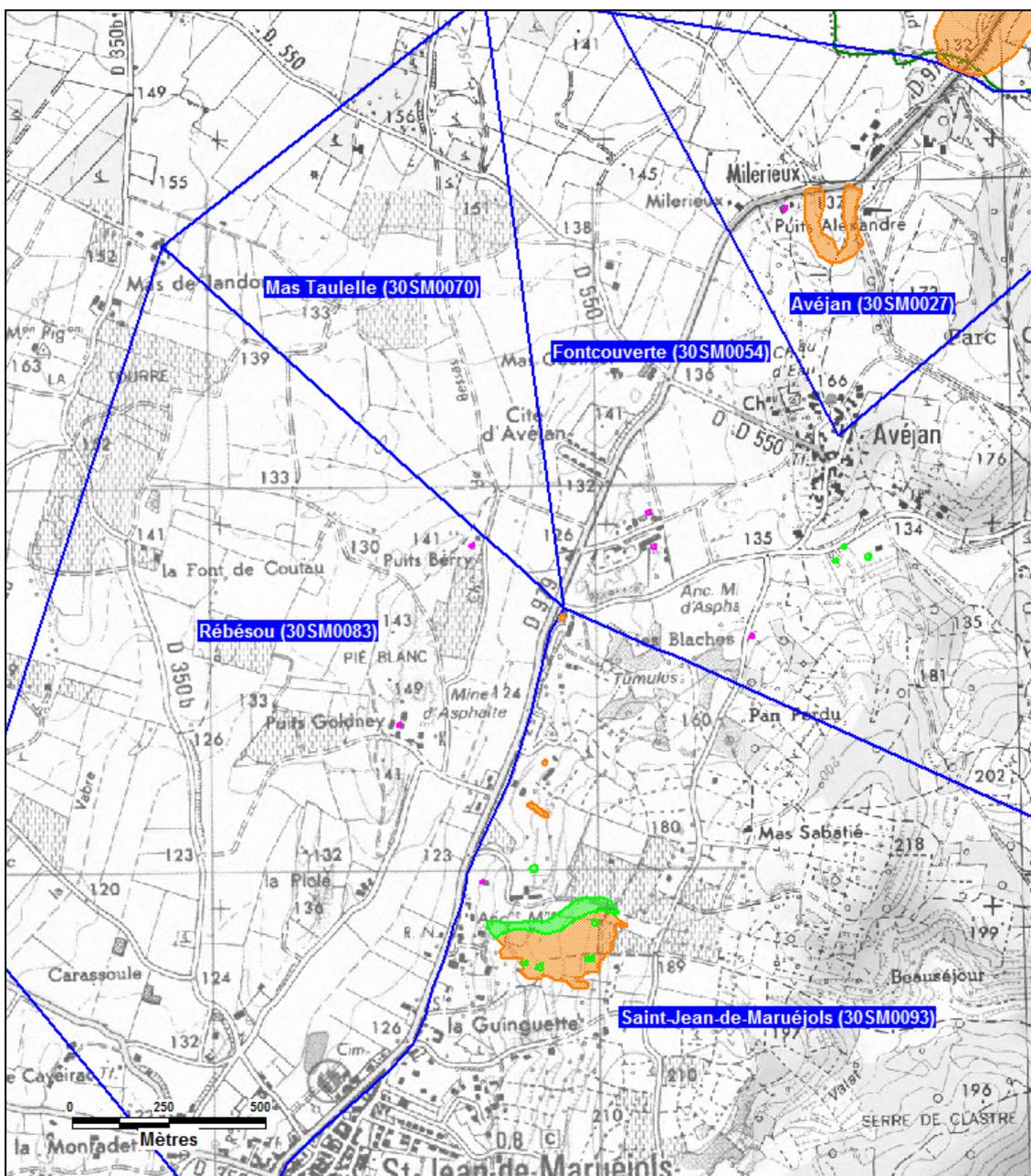
Les seuls travaux situés à moins de 20 m de profondeur sont situés au sud de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols et sur le quartier d'Avéjan de la concession de fontcouverte.

Nous avons retenu :

- ✓ un niveau moyen, croisement d'une intensité modérée avec une prédisposition sensible pour les travaux à moins de 15 m de profondeur situé au sud de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, ainsi que sur le tronçon de l'entrée Bond situé à moins de 15 m de profondeur,
- ✓ un niveau faible, croisement d'une intensité modérée avec une prédisposition peu sensible pour les travaux entre 15 et 20 m de profondeur situé au sud de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols.

L'aléa effondrement localisé est nul au-delà de 20 m de profondeur.

Remarque : les travaux à faible profondeur du quartier d'Avéjan sur la concession de Fontcouverte ont été entièrement remblayés en 2000. L'aléa effondrement localisé est donc écarté.



**Illustration 12 : Répartition des zones d'aléa effondrement localisé**  
 (vert = niveau faible / orange = niveau moyen / rose = puits sans aléa)

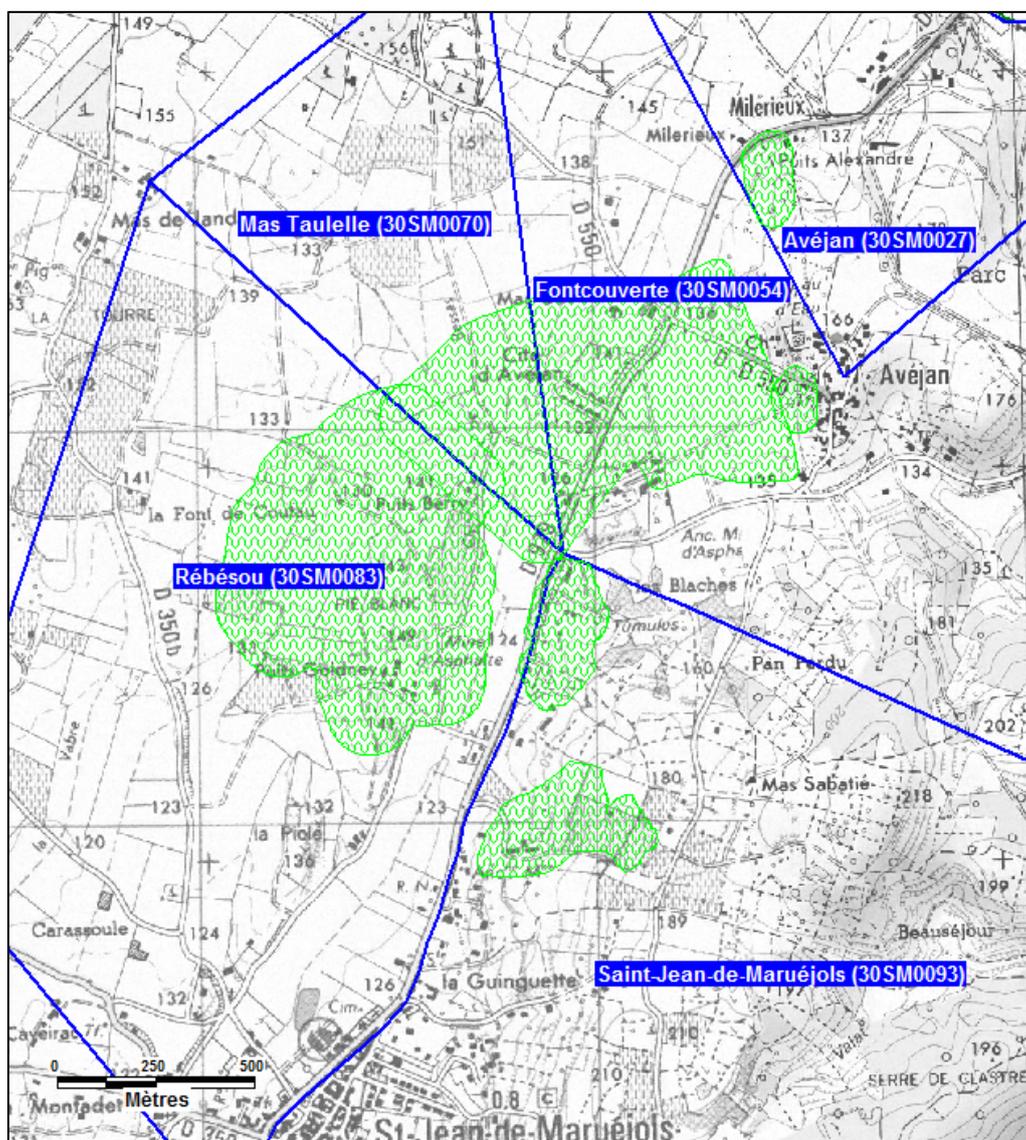
### 3.2.2 Aléa affaissement progressif

L'affaissement progressif se manifeste par un réajustement des terrains de surface induit par la rupture de quartiers miniers souterrains profonds. Les désordres en surface généralement lents et progressifs, prennent la forme d'une dépression topographique qui présente une allure de cuvette, sans rupture cassante importante.

L'occurrence d'un tel phénomène est possible au droit des travaux souterrains de la concession de Rébésou (un affaissement était toujours en cours en 2009), des travaux en chambres et piliers abandonnés des concession de Mas-Taulelle et Fontcouverte, et de certains travaux en chambres et piliers de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols.

Nous avons retenu un niveau faible, croisement d'une prédisposition peu sensible à sensible avec une intensité limitée, sur les secteurs suivants (Illustration 13) :

- ✓ Au droit des travaux en chambres et piliers des zones 3 à 5 de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols,
- ✓ Au droit de l'ensemble des travaux de la concession de Rébésou à l'exception des zones de traçage et larges piliers,
- ✓ Au droit des travaux en chambres et piliers du quartier d'Avéjan, du puits Alexandre (uniquement le secteur des petits piliers) et du puits incliné des concessions de Mas-Taulle et Fontcouverte (tous les travaux à l'exception des panneaux D et -95, non exploités).



**Illustration 13 : Répartition des zones d'aléa affaissement progressif**  
(vert = niveau faible)

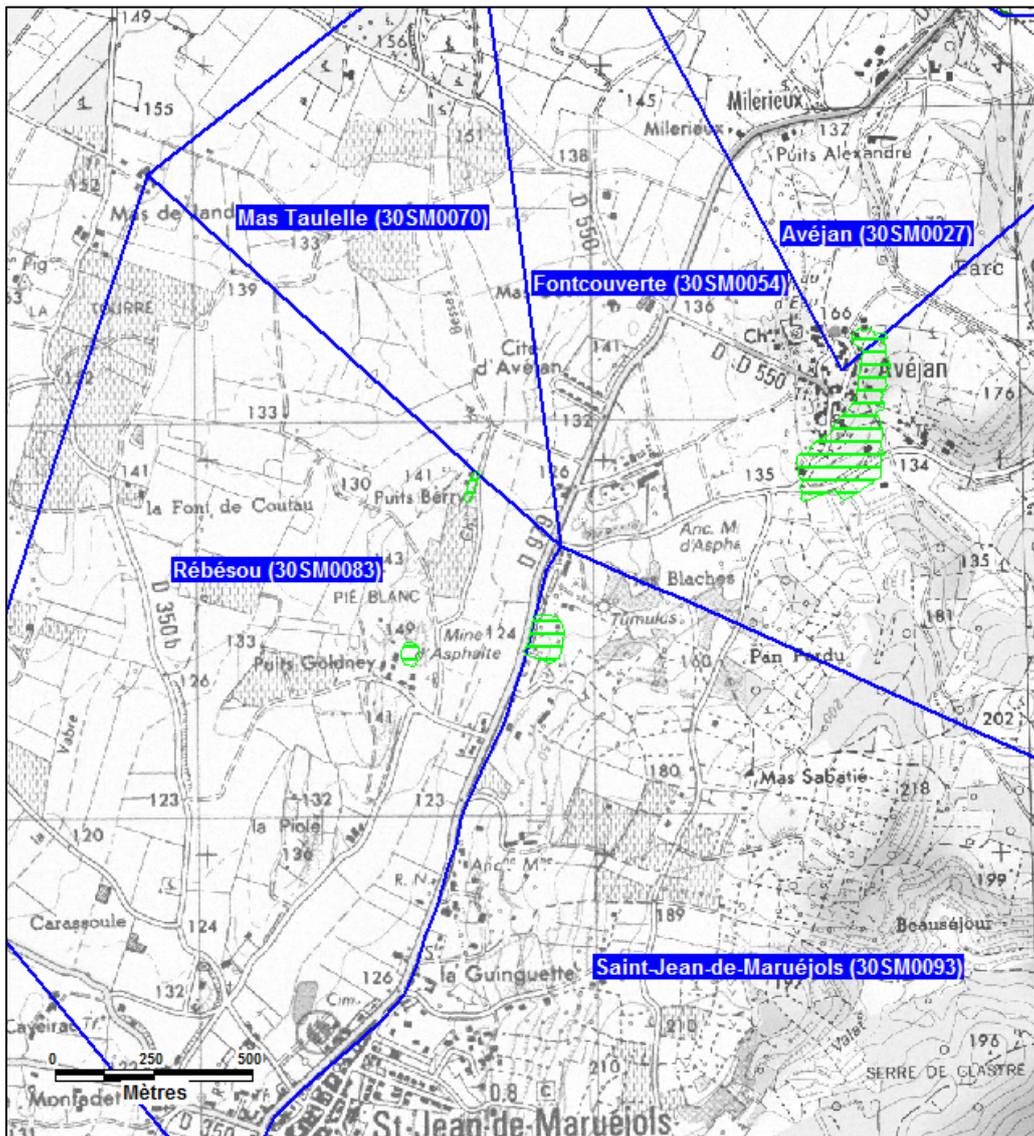
### 3.2.3 Aléa tassement

Le tassement correspond à la remobilisation ou la recompaction 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).

Le phénomène de tassement peut survenir sur plusieurs configurations de travaux miniers.

Sur la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols, deux configurations ont été retenues et sont susceptibles de générer des mouvements de terrain de type tassement (Illustration 14) :

- les 3 ouvrages de dépôts, constitués de bloc relativement homogènes et dont la taille varie de quelques centimètres à quelques décimètres. Par croisement d'une intensité limitée avec une prédisposition peu sensible, nous avons retenu un niveau faible pour ces 3 ouvrages de dépôts.
- les zones de travaux souterrains exploitées en tailles chassantes du quartier d'Avéjan. Par croisement d'une intensité limitée avec une prédisposition peu sensible, nous avons retenu un niveau faible pour ces zones de travaux.



**Illustration 14 : Répartition des zones d'aléa tassement**  
 (vert = niveau faible)

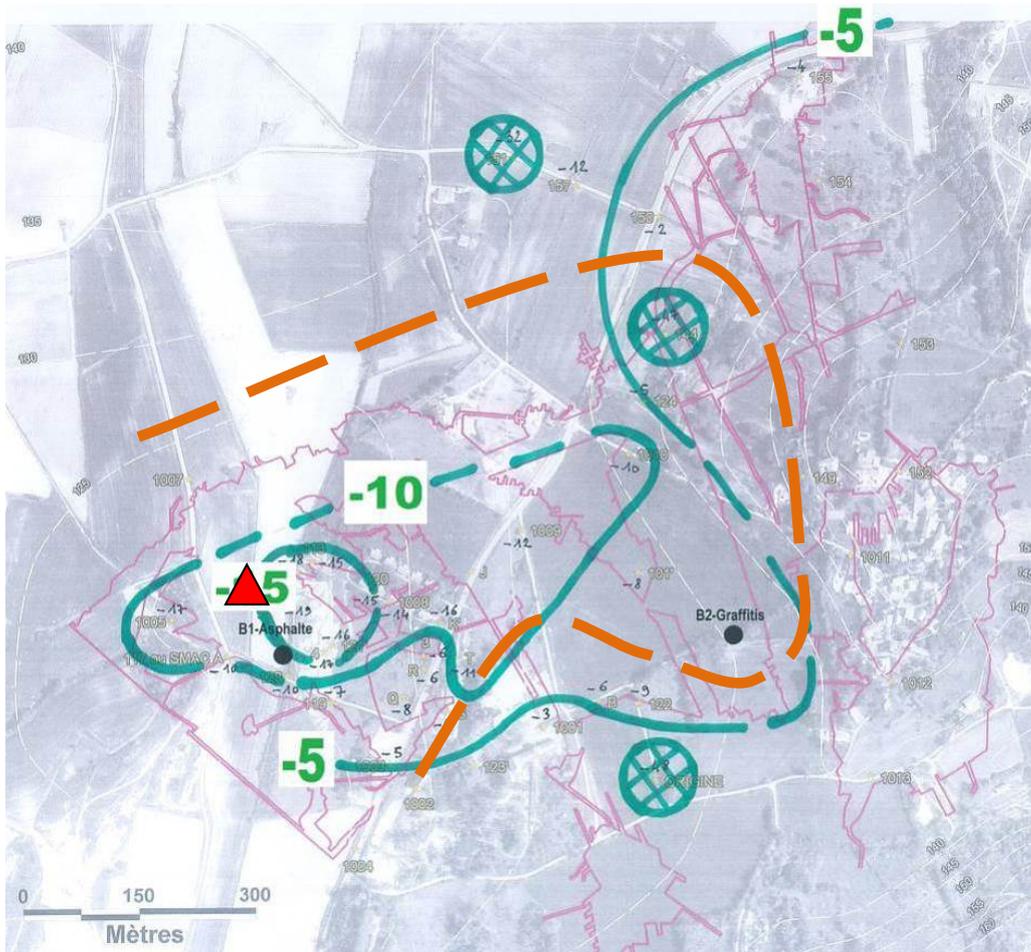
#### **4 SUIVI DES MOUVEMENTS DE TERRAIN EN SURFACE AU COURS DU POMPAGE D'ESSAI DANS L'AQUIFERE MINIER**

En vu de la mise en place d'une station de pompage permanent, dans l'aquifère minier de la SMAC, l'Association Syndicale Autorisée (ASA) d'irrigation de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan a réalisé des essais de pompage couplés à un suivi des mouvements de terrain par mesure de nivellement. Dans ce cadre, l'INERIS a mis en place un réseau d'une trentaine de points qui ont été surveillés en altitude. Cette surveillance a été menée pendant plus de huit mois lors de différentes phases de pompage visant à réaliser un rabattement de la nappe par paliers puis à provoquer des remontées de nappe.

Le rabattement induit par le pompage d'essai a engendré un abaissement global des terrains de surface de 5 à 20 mm, avec toutefois des valeurs anormalement fortes, atteignant 30 à 60 mm en quelques points éloignés du site de pompage (Illustrations 1 et 15). Notons néanmoins que quelques mois après la fin du pompage, le niveau du sol est revenu à son état initial. Ceci met en évidence le caractère réversible de cet abaissement.

En l'état actuel des connaissances, l'INERIS propose de considérer un abaissement moyen de la surface du sol de 20 mm comme étant un maximum admissible en réponse à la mise en pompage en continu de l'aquifère minier. Sur la base de cette valeur, un rabattement maximal de l'ordre de 45 m au forage F1 est recommandé. Cette valeur correspond à environ 48 m au forage F2 sont recommandés. Sur l'illustration 15, la station de pompage est représentée par le triangle rouge.

Finalement, à l'issue du pompage d'essai, la valorisation de l'aquifère minier a été abandonnée.



**Illustration 15 : Iso-valeurs (en mm) d'abaissement maximum de la surface du sol au 25 août 2014 (mesures de nivellement + balises)**  
 (le triangle rouge est le lieu de pompage, la ligne en tirets oranges délimite la zone d'affaissement résiduel, les cercles hachurés représentent les points anormaux)

## 5 CONCLUSION

La présente analyse a conduit à la définition de l'aléa effondrement localisé, affaissement progressif et tassement, liés aux anciennes exploitations souterraines sur la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols (Illustration 16).

Les zones de travaux totalisent une surface d'une centaine d'hectares. Nous avons inventorié 23 ouvrages débouchant au jour, 3 ouvrages de dépôts et 6 désordres de type effondrement localisé ayant eu lieu après l'exploitation.

Sept puits n'engendrent pas d'aléa. Il s'agit des puits sécurisés de façon pérenne par pose d'un bouchon béton précédé d'un remblayage complet de la colonne. Il s'agit des puits suivants : Puits Goldney, Berry, petit puits, puits incliné, Puits Delamare, Puits des Blaches, Puits Alexandre.

Les enveloppes d'aléas définies concernent uniquement la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan.

Selon la BD Ortho® de l'IGN année 2010, une vingtaine de bâtiments, correspondant le plus souvent à des anciens bâtiments miniers, sont concernés par l'aléa affaissement de niveau faible. Seul un bâtiment est concerné par l'aléa effondrement localisé de niveau faible.

	Zones	Effondrement localisé	Affaissement	Tassement
Concession de Saint-Jean-de-Maruéjols - SFA	Zone 1 ou Travaux de La Minette	Moyen (travaux entre 0 et 15 m de profondeur et puits)  Faible (travaux entre 15 et 20 m de profondeur et puits)	Faible (travaux en chambres et piliers de des zones 3 à 5)	Faible (dépôts du puits Vian)
	Zone 2 ou Travaux en chambres et piliers			
	Zone 3 ou Travaux du puits Vian			
	Zone 4 ou Travaux du Petit Puits			
	Zone 5 ou Travaux du Puits Bond			
Concession de Rébésou SFA	Zone 6	-	Faible (toutes les zones sauf le secteur de traçage et larges piliers de la zone 8)	Faible (dépôts des puits Goldney et Berry)
	Zone 7			
	Zone 8			
	Partie sud-ouest de la zone 8			

		Zones	Effondrement localisé	Affaissement	Tassement
Concessions de Fontcouverte et Mas Taulelle SMAC		Quartier d'Avéjan	Faible (puits)	Limitée	Faible (travaux en taille chassante et la zone des galeries peu profondes remblayées en 2000 de la concession de Fontcouverte)
		Travaux du puits Delamare	-	-	-
		Travaux du Puits Alexandre	Moyen (travaux pour lignite)	Faible (secteur des petits piliers)	-
	Travaux du Puits Incliné	quartiers -47 Nord, -47 Sud, -73, -29	-	Faible (tous les travaux)	-
		parties centrales et sud du panneau X	-	Faible (tous les travaux)	-
		panneaux Y et complémentaire panneau X	-	Faible (tous les travaux)	-
D et -95		-	-	-	
Concession n d'Avéjan	Travaux artisanaux	Moyen	-	-	

**Illustration 16 : Aléas retenus sur les concessions étudiées**



## **ANNEXE A**

### **Rapport de phase informative et d'évaluation des aléas**

*(hors texte)*



## **ANNEXE B**

### **Carte informative**

*(hors texte)*



**ANNEXE C**  
**Cartes d'aléas**

*(hors texte)*

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**

# **Concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols, Rébésou, Fontcouverte et Mas Taulelle (Gard) Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain**

**RAPPORT S 2016/019DE - 16LRO34020**

Date : 12/05/2016



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Objet et contexte</b>	3
<b>2</b>	<b>Définitions et méthodologie</b>	5
2.1	Définitions de l'aléa et du risque	5
2.2	Méthodologie mise en oeuvre	5
2.2.1	<i>Phase informative</i>	5
2.2.2	<i>Phase d'évaluation des aléas</i>	6
2.2.3	<i>Cas de l'étude de Saint-Jean-de-Maruéjols</i>	6
<b>3</b>	<b>Phase informative</b>	7
3.1	Situation géographique et géomorphologique du secteur étudié	7
3.2	Géologie régionale et structurale	7
3.3	Le gisement	10
3.4	Le recouvrement	11
3.4.1	<i>Caractéristiques mécaniques du recouvrement</i>	12
3.4.2	<i>Formation superficielles</i>	14
3.5	Contexte hydrogéologique	14
3.5.1	<i>Hydrogéologie du bassin</i>	14
3.5.2	<i>Hydrogéologie minière</i>	15
3.6	Les travaux miniers	16
3.6.1	<i>Historique des travaux miniers</i>	16
3.6.2	<i>Description des travaux et méthode d'exploitation</i>	17
3.7	Etat actuel du site	41
3.7.1	<i>Visite des travaux souterrains par l'INERIS</i>	41
3.7.2	<i>Les ouvrages débouchant au jour</i>	43
3.7.3	<i>Les ouvrages de dépôts</i>	49
3.7.4	<i>Les désordres</i>	49
3.7.5	<i>Installations de pompage</i>	63
3.7.6	<i>Events des puits Alexandre et Incliné</i>	65
3.8	Cartographie informative	66
3.8.1	<i>Géoréférencement des travaux miniers</i>	66
3.8.2	<i>Incertitudes de localisation</i>	66

<b>4</b>	<b>Phase d'évaluation des aléas</b> .....	69
4.1	Identification des aléas retenus.....	69
4.1.1	<i>Aléa affaissement progressif</i> .....	69
4.1.2	<i>Aléa effondrement localisé</i> .....	70
4.1.3	<i>Aléa tassement</i> .....	71
4.2	Evaluation de l'aléa effondrement localisé .....	72
4.2.1	<i>Effondrement localisé lié aux zones de travaux à faible profondeur</i> .....	72
4.2.2	<i>Effondrement localisé lié aux puits</i> .....	76
4.3	Evaluation de l'aléa affaissement progressif .....	77
4.3.1	<i>Evaluation de la prédisposition</i> .....	77
4.3.2	<i>Evaluation de l'intensité</i> .....	84
4.3.3	<i>Evaluation du niveau d'aléa</i> .....	87
4.4	Evaluation de l'aléa tassement.....	91
4.4.1	<i>Evaluation de l'aléa tassement lié aux dépôts</i> .....	91
4.4.2	<i>Evaluation de l'aléa tassement lié aux tailles chassantes remblayées</i> .....	91
4.5	Cartographie des aléas.....	91
4.5.1	<i>Cartographie de l'aléa affaissement progressif</i> .....	91
4.5.2	<i>Cartographie de l'aléa effondrement localisé</i> .....	92
4.5.3	<i>Cartographie de l'aléa tassement</i> .....	93
<b>5</b>	<b>Synthèse des aléas</b> .....	95
<b>6</b>	<b>Bibliographie</b> .....	97
6.1	Documents de référence.....	97
6.2	Principaux documents d'archive.....	97

**Mots clés : Saint-Jean-de-Maruéjols, Rébésou, Fontcouverte, Mas Taulelle, Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan, calcaire asphaltique, bitume, Gard, aléas mouvements de terrain**

## 1 OBJET ET CONTEXTE

Le programme de travail 2015 de GEODERIS prévoit la réalisation d'une opération « Appui à la DREAL Languedoc-Roussillon », fiche n° LRO3.9.000 du programme 2015, à laquelle se rattache la présente étude et qui porte exclusivement sur le périmètre de la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols.

Cette commune est couverte par quatre concessions pour calcaire asphaltique (Illustration 1) :

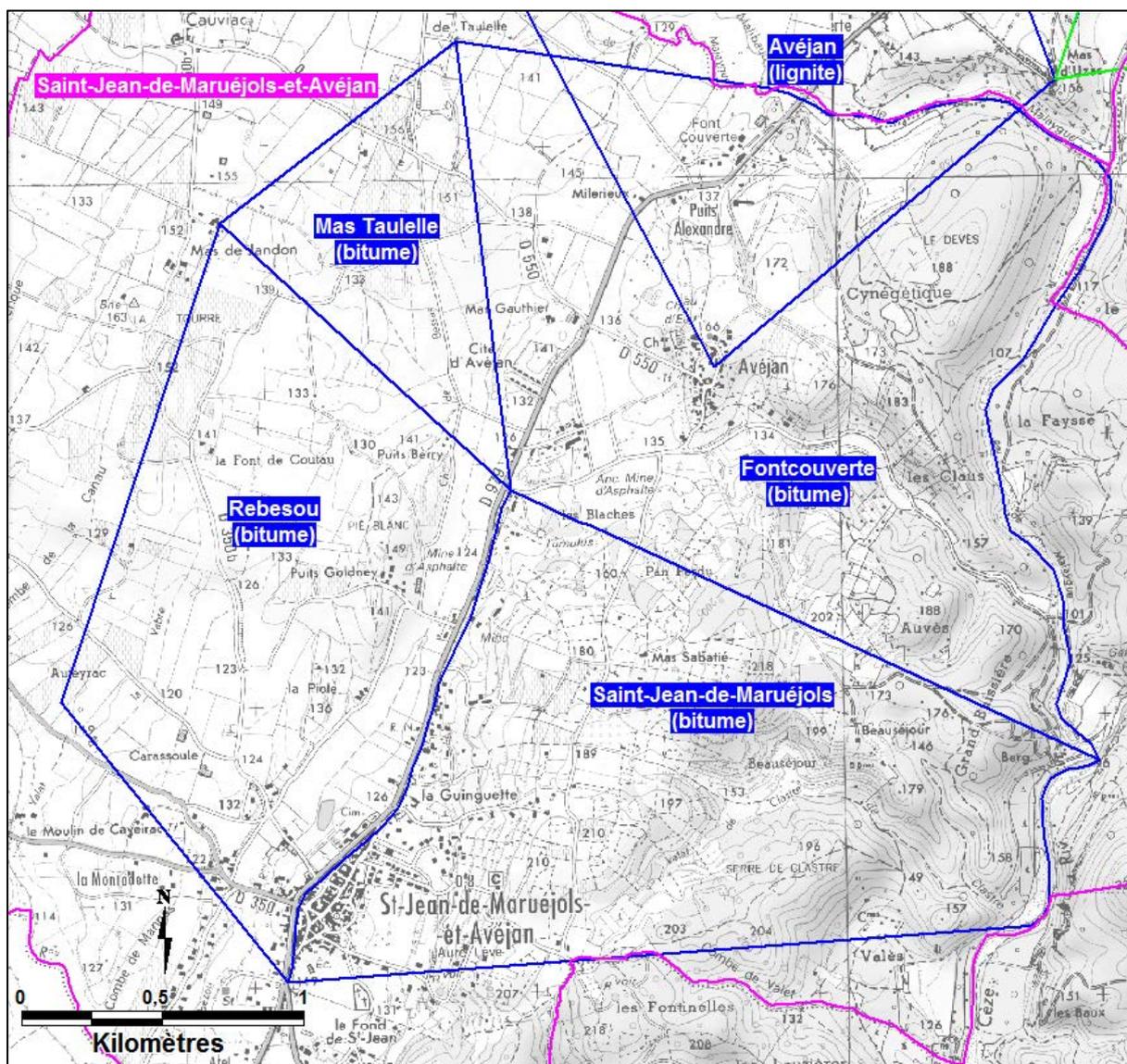
- ✓ Concession de Rébésou (cessionnaire : Société Française des Asphaltes ou SFA) ;
- ✓ Concession du Mas Taulelle (cessionnaire : Société des Mines de bitume et d'Asphalte du Centre ou SMAC) ;
- ✓ Concession de Fontcouverte (cessionnaire SMAC) ;
- ✓ Concession de Saint-Jean-de-Maruéjols (cessionnaire SFA).

Entre 2007 et 2010, l'INERIS a réalisé, dans le cadre de Dossier d'Arrêts Définitifs de Travaux et d'installations minières (DADT), pour le compte de la SFA et de la SMAC, plusieurs études dont deux études d'aléas (l'une pour la SFA, l'autre pour la SMAC, [4], [5], [6]).

Le présent rapport s'appuie sur les informations recueillies à l'occasion des études passées, dans les documents compulsés au sein d'archives publiques ou de fonds privés.

Les aléas environnement et émissions de gaz de mines ne sont pas analysés dans cette étude, même si les informations correspondantes éventuellement retrouvées y sont synthétisées.

Remarque : La zone d'étude jouxte, au nord, le périmètre de l'étude d'aléa de Barjac réalisée en 2008 (rapport référencé GEODERIS S 2009/35DE – 09LRO2210) concernant le lignite. La concession d'Avéjan, située en partie sur la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan, concerne cette exploitation des lignites de Barjac. Cette partie de concession a été incluse au périmètre de l'étude.



**Illustration 1 : Localisation des titres miniers concernés (limites bleues)**

## **2 DEFINITIONS ET METHODOLOGIE**

### **2.1 Définitions de l'aléa et du risque**

L'aléa traduit la probabilité qu'un phénomène se produise sur un site donné, au cours d'une période de référence, en atteignant une intensité ou une gravité qualifiable ou quantifiable. La caractérisation d'un aléa repose donc classiquement sur le croisement de l'intensité prévisible du phénomène avec sa probabilité d'occurrence. En termes de mouvement de terrain, la notion de probabilité d'occurrence traduit plutôt la prédisposition d'un site à être affecté par l'un ou l'autre des phénomènes analysés. Elle est généralement moins aisée à appréhender et à quantifier que l'intensité.

L'intensité du phénomène correspond à l'ampleur des désordres, impacts ou nuisances susceptibles de résulter du phénomène redouté. Cette notion intègre à la fois une hiérarchisation des conséquences des événements mais également leur potentiel de gravité sur les personnes, les biens et l'usage du sol susceptible d'occuper potentiellement le site.

Le risque résulte du croisement entre un aléa et des enjeux existants en surface. Il résulte d'un inventaire exhaustif des enjeux existants (biens, personnes...).

### **2.2 Méthodologie mise en œuvre**

Afin d'établir et d'évaluer les aléas de type mouvement de terrain, la démarche adoptée est la suivante :

#### **1. Première étape : phase informative**

Il s'agit de recueillir un maximum d'informations sur l'ancienne exploitation (plans, écrits, témoignages...). A l'issue de cette phase, une première carte dite « informative » est réalisée afin de compiler l'ensemble de ces données.

#### **2. Deuxième étape : phase aléas**

A partir des informations recueillies au cours de la phase informative, les aléas mouvements de terrain liés aux travaux miniers sont évalués.

Les évaluations d'aléa seront menées selon les principes du guide méthodologique d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers [1] et du guide pratique pour l'homogénéisation des études détaillées des aléas miniers [2].

#### **2.2.1 Phase informative**

La première étape de l'évaluation des aléas mouvements de terrain est le recueil d'informations. L'ensemble des archives disponibles sur l'ancienne exploitation étudiée est consulté afin de recueillir les informations (plans, Procès-Verbaux de visites, rapports sur la mine...) relatives aux travaux souterrains et à leur historique. Cette phase, indispensable pour évaluer l'aléa, est décrite dans le paragraphe 3.

A l'issue de cette phase de recueil d'informations, les plans d'archives sont géoréférencés afin de localiser les travaux miniers souterrains et les éventuels ouvrages débouchant en surface. Cette phase a pour objectif de réaliser un SIG le plus exhaustif possible.

Afin de repérer les ouvrages débouchant en surface, les désordres ou tout autre indice minier, une inspection sur le terrain est effectuée. Ces indices miniers, localisés par dGPS (differential Global Positioning System), permettent de valider les données d'archives et de réduire les incertitudes de localisation liées au géoréférencement des plans. C'est également lors de cette visite que les riverains ou toute personne ayant une bonne connaissance de la mine sont rencontrés afin d'obtenir le maximum d'informations sur le site étudié.

La carte informative est établie à l'issue de ces différentes phases et intègre l'ensemble des informations nécessaires à la réalisation de la phase d'aléa.

### **2.2.2 Phase d'évaluation des aléas**

En se basant sur l'ensemble des informations recueillies au cours de la phase informative, une analyse des phénomènes redoutés est réalisée.

L'ensemble des aléas de type mouvements de terrain est étudié afin de ne retenir que ceux qui sont pertinents. L'analyse de chacun de ces aléas est fondée sur une évaluation du niveau d'aléa par type de désordre ou phénomène attendu et par zone homogène. Celle-ci se fera en croisant l'intensité des désordres en surface et la sensibilité du site à leur apparition (déterminée à partir de critères de prédisposition ou des facteurs aggravants).

Une carte d'aléas mouvements de terrain est établie à l'issue de cette analyse.

### **2.2.3 Cas de l'étude de Saint-Jean-de-Maruéjols**

A la demande de la DREAL, les évaluations des risques résiduels liés aux mouvements de terrain des DADT de SFA et de SMAC ont été réalisées en suivant la méthodologie d'évaluation des EDA gérées par GEODERIS sur toute la France. Dans ce cadre, l'INERIS qui s'était attaché à réaliser l'instruction de ces dossiers, avait tenu compte des contraintes réglementaires imposées par la structure des DADT mais également de la méthodologie d'établissement des études d'aléas miniers. Toutefois, ces études ont été réalisées en suivant le périmètre administratif concerné, à savoir les concessions minières, et sans suivre le formalisme actuel du SIG tel que demandé par GEODERIS pour les EDA.

L'objectif de la présente étude a donc été de reprendre ces dossiers et de les convertir à la fois en un seul rapport autoporteur établi à l'échelle de la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols (périmètre d'étude des EDA GEODERIS) ainsi qu'en une base SIG, accompagnée des cartes informatives et d'aléas conformes aux modèles GEODERIS actuels.

Les études liées aux DADT sont relativement récentes 2007 et 2010, [4], [5], [6]. Dans ce cadre, l'INERIS avait réalisé à l'époque :

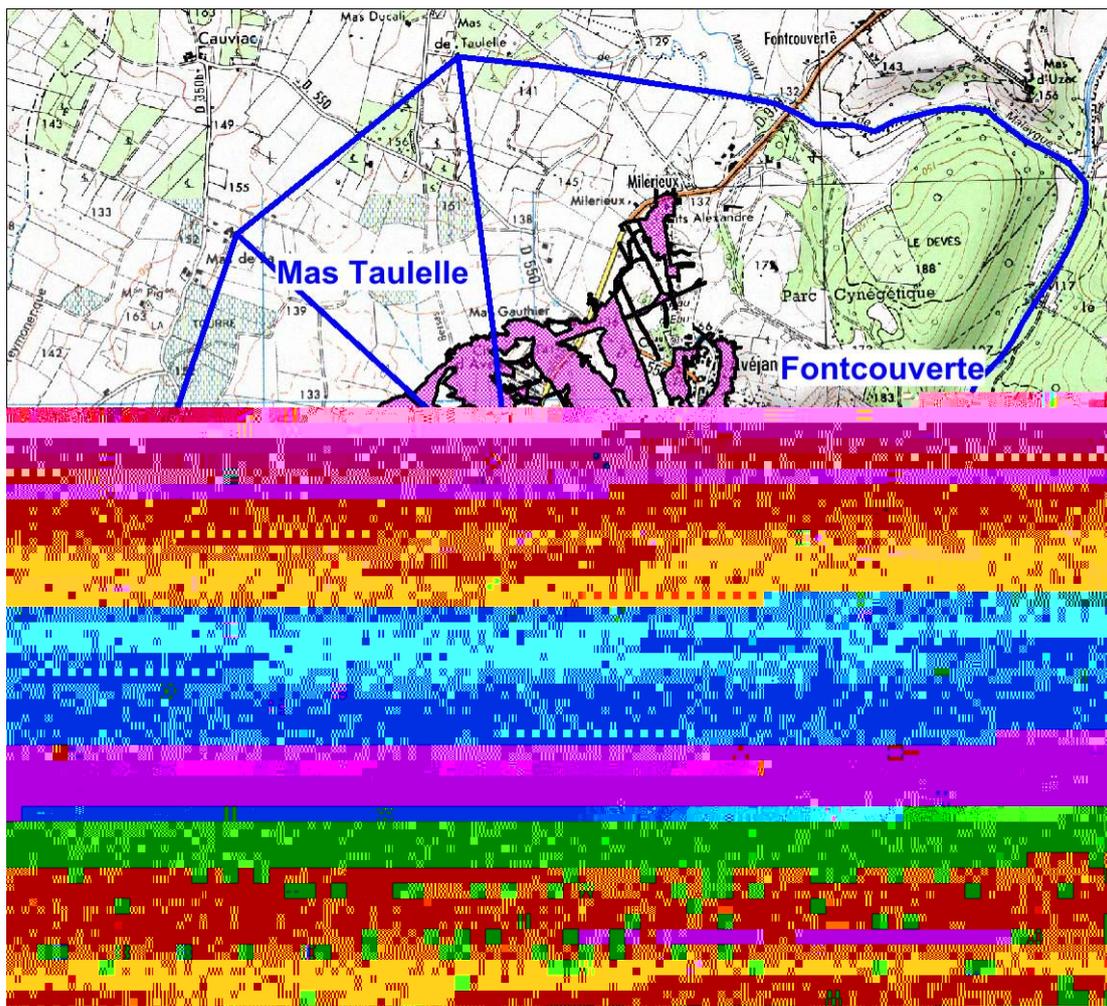
- ✓ une analyse détaillée de toutes les sources d'archives disponibles ;
- ✓ des phases terrains exhaustives de manière à intégrer le maximum d'informations dans les études. L'INERIS avait de même réalisé les différents rapports de récolement des travaux de mise en sécurité demandés par la DREAL aussi bien pour SFA que pour SMAC.

Ainsi, il n'a pas été nécessaire de réaliser une nouvelle campagne d'archives dans le cadre de la présente étude et l'INERIS n'a pas estimé pertinent de reprogrammer une nouvelle phase terrain.

### 3 PHASE INFORMATIVE

#### 3.1 Situation géographique et géomorphologique du secteur étudié

Les travaux souterrains pour bitume sont tous situés sur le territoire de la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan à l'aplomb des quatre concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols, de Rébésou, de Mas Taulelle et de Fontcouverte. Leur étendu est de l'ordre d'une soixantaine d'hectares. Les travaux miniers sont situés à 500 m au nord du village de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan (Illustration 2).



*Illustration 2 : Localisation des concessions minières pour bitume (en bleu) et des travaux miniers pour bitume (en rose) sur la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan*

#### 3.2 Géologie régionale et structurale

La formation exploitée des calcaires asphaltiques du Ludien affleure au nord-est de la faille Vian. Au droit des anciens travaux miniers de la SFA, cette formation est surmontée par des marnes grisâtres, plus ou moins calcaires, passant à des calcaires blancs ou jaunes présentant des discontinuités : fissures, fractures. Ces niveaux incluent également des couches de lignite et parfois de gypse (Illustration 3).

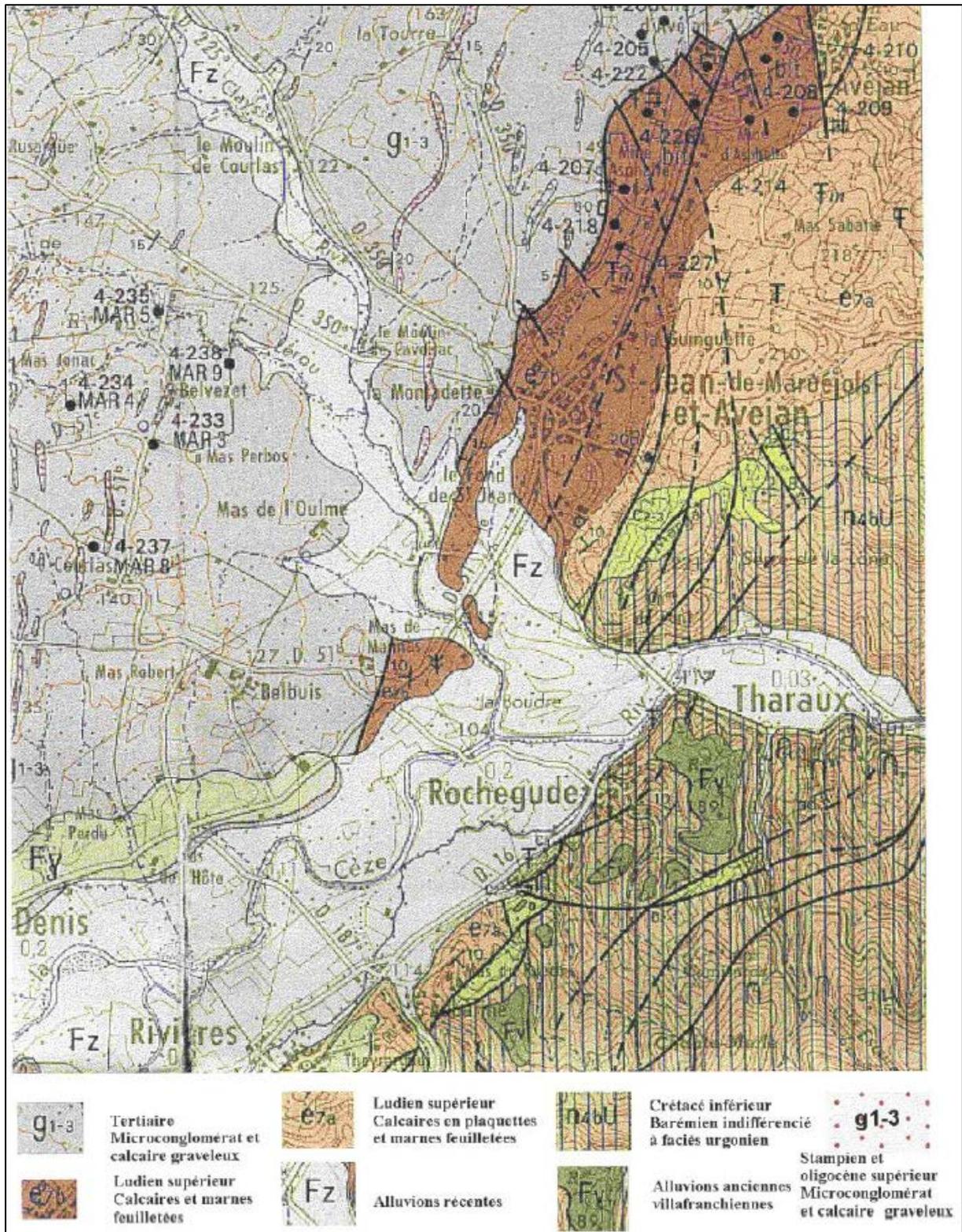
Au toit du gisement, une série de marnes et calcaires feuilletés est souvent imprégnée de bitume.

Le Tertiaire repose sur le Cénomaniens supérieur et le Turonien indifférenciés composés de grès, de sables, de calcaire gréseux, puis le Barrémien de faciès Urgonien composé de calcaire récifal blanc très pur, compact en bancs massifs.

L'Urgonien ainsi que les marno-calcaires de Hauteriviens repose sur la puissante série marneuse du Valangivien (Crétacé inférieur).

A l'ouest de la faille de Barjac affleure le Stampien, composé de marnes jaunes et rouges avec des intercalations de calcaires gréseux.

Sur le plan tectonique, on observe une faille principale (faille de Barjac ou du Rébésou) très amortie et accompagnée de failles satellites (faille de Vian, faille de Goldney) (Illustration 5) [18]. Ces failles recoupent le gisement en une série de plateaux et enfoncent celui-ci vers le Nord-Ouest sur la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols puis vers le Sud-Ouest, sur la concession de Rébésou.

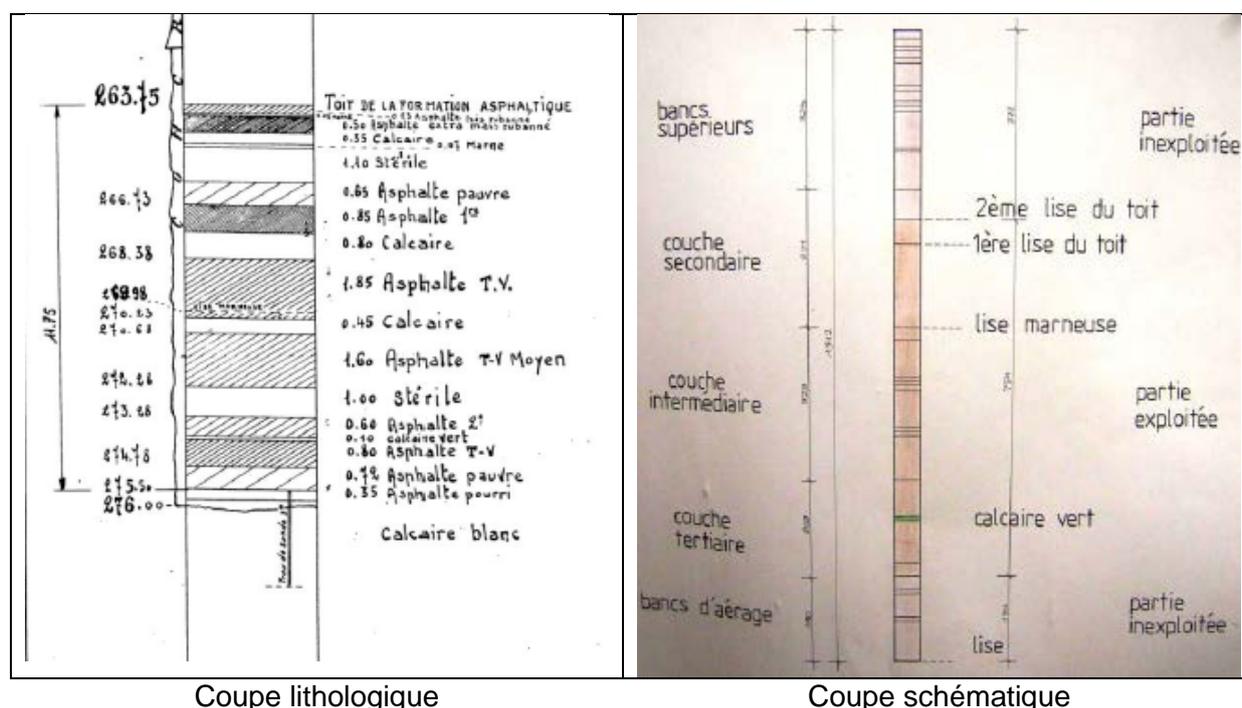


*Illustration 3 : Extrait de la carte géologique du secteur*

### 3.3 Le gisement

Le gisement exploité correspond à une partie des calcaires asphaltiques du Ludien inférieur (Sannoisien inférieur). Il s'agit de 30 m de calcaires en plaquettes et de marnes feuilletées reposant en discordance tantôt sur les marnes valanginiennes tantôt sur les calcaires urgoniens. Dans le détail, il s'agit d'une série de calcaires crayeux blancs, de marnes et conglomérats, de calcaires en petits bancs et à lits de silex ainsi qu'au sommet, de marnes et calcaires feuilletées, très souvent imprégnées de bitume.

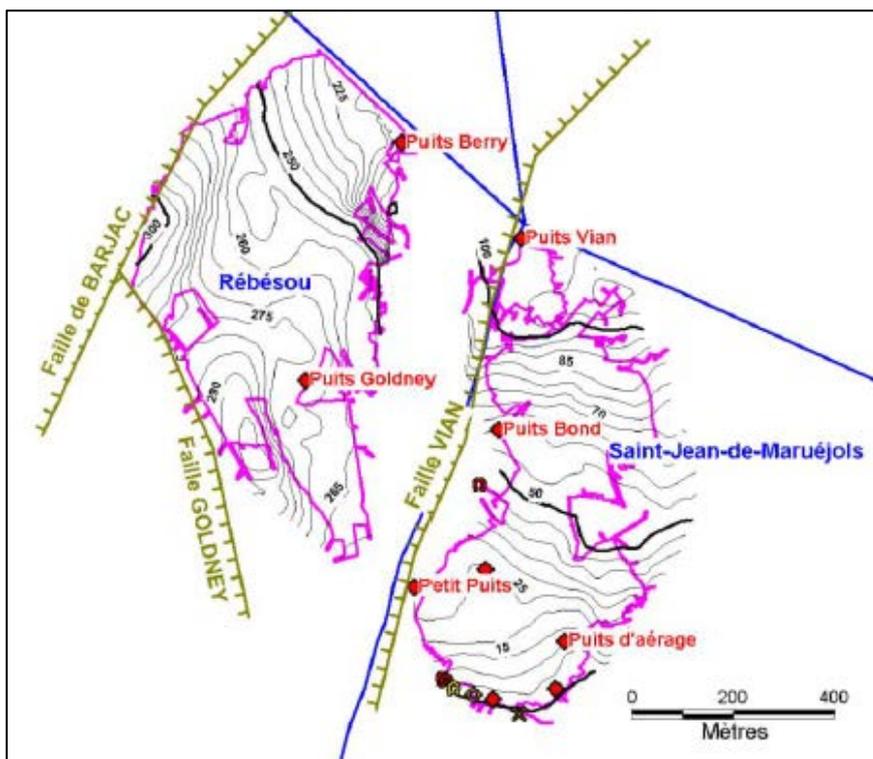
Le gisement exploité se présente sous la forme d'une couche de 10 à 12 m de puissance, d'aspect lité, avec une imprégnation variable suivant les strates. La teneur moyenne en bitume est de 7 à 8 %, avec des passages pouvant atteindre 13 % (Illustration 4).



**Illustration 4 : Coupes de la formation asphaltique de Rébésou au droit du puits Goldney**

Sur les secteurs de Rébésou, Fontcouverte et Mas Taulelle, seules les couches secondaires et tertiaires ont été exploitées. L'épaisseur exploitable était de l'ordre 7 à 8 m.

Pour la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, la couche secondaire est nommée couche supérieure alors que la couche tertiaire est nommée couche inférieure. L'épaisseur exploitable était de l'ordre de 2 m sauf au puits Vian où elle atteignait 3 à 4 m.



**Illustration 5 : Evaluation approximative des profondeurs de la couche exploitée (en rose, contours des travaux souterrains, en noir, isohypse du toit de la couche exploitée, en marron, tracé des failles principales, en bleu, limites des concessions)**

### 3.4 Le recouvrement

D'après les sondages réalisés sur la concession de Rébésou, le recouvrement apparaît comme une alternance de marnes et de calcaires plus ou moins marneux.

La même succession de faciès plutôt marneux ou plutôt calcaires se retrouve sur l'ensemble du secteur avec des épaisseurs variables. De manière plus détaillée, la couche est directement surmontée par une alternance de marnes grises et de calcaires gris marneux avec de petits niveaux gypseux. Cette série très feuilletée a une épaisseur de 10 à 20 m.

Au-dessus, se trouve une série calcaire marneuse dont l'épaisseur est variable suivant les lieux, de 20 à 40 m d'épaisseur.

Au-dessus, la première série est constituée des calcaires oolitiques pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur (de 5 à 20 m).

La série suivante est de nouveau plus marneuse et contient localement de petits niveaux ligniteux. On observe ensuite jusqu'en surface une alternance de calcaires et de marnes.

Le recouvrement, majoritairement constitué d'une succession de bancs calcaires de faible épaisseur, marnes et calcaires marneux peut être caractérisé globalement par un comportement plastique (Illustration 6). La première série à faciès marneux qui surmonte la couche doit assurer un bon foisonnement en cas de foudroyage du toit. Ceci a d'ailleurs été vérifié au droit des chantiers en dépilage sur la concession de Rébésou. Le coefficient de foisonnement a été estimé à 1,4 à partir d'observations des foudroyages au fond, [7], [8]. La densité moyenne des terrains de recouvrement retenue pour le reste de l'étude est de  $2,2 \text{ T/m}^3$ .

Le seul banc qui pourrait être plus résistant est constitué par le calcaire oolitique à une quarantaine de mètres au-dessus de la couche.

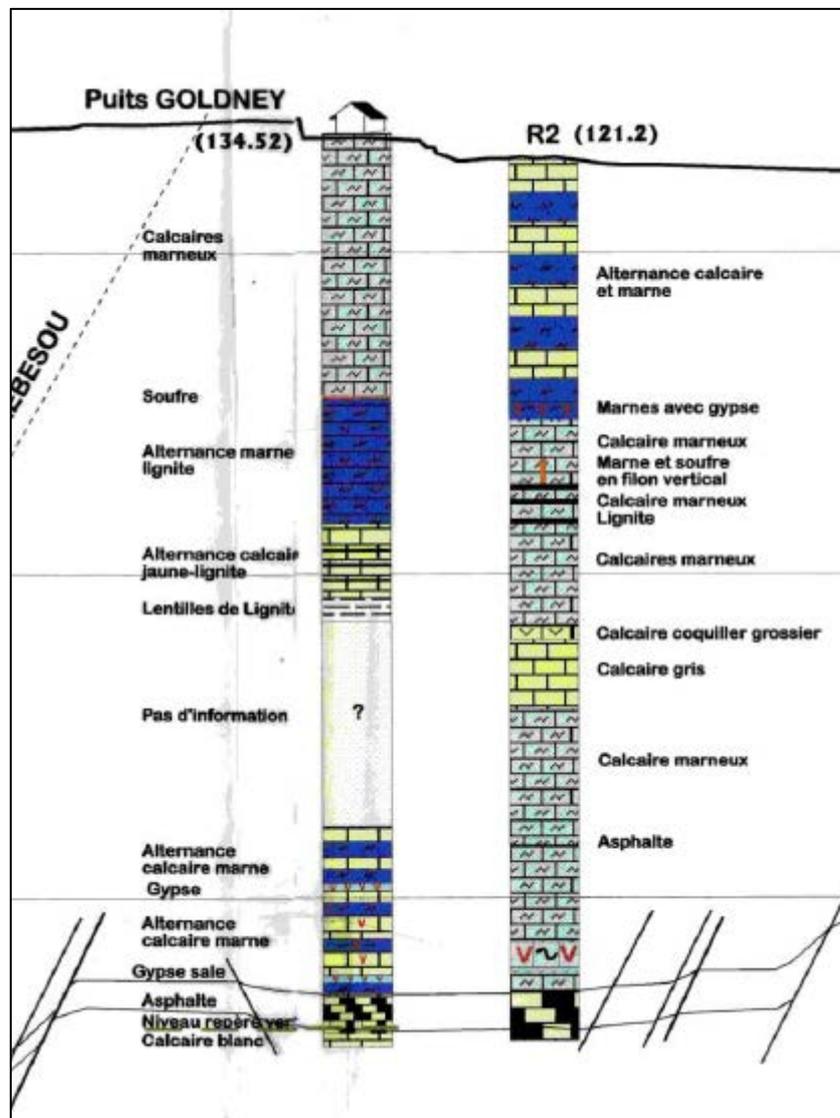


Illustration 6 : Coupe du puits Goldney et du sondage R2

### 3.4.1 Caractéristiques mécaniques du recouvrement

L'évaluation de la stabilité d'une mine passe en premier lieu par la détermination de la résistance des matériaux constituant les éléments porteurs. Dans le cas présent d'exploitation partielle, ce sont notamment les piliers de la formation exploitée. Afin d'évaluer cette valeur de résistance, deux approches sont possibles :

- 1) La première est basée sur une analyse des résultats d'essais connus dans le secteur.

Des essais ont en effet été réalisés par les exploitants (SFA et SMAC) et montrent une certaine dispersion des valeurs de résistance. Les bancs riches en asphaltes ont des résistances (essais instantanés<sup>1</sup> à la compression simple en laboratoire) généralement comprises entre 10 et 20 MPa alors que les bancs stériles, ont une résistance entre 20 et 30 MPa. Ces valeurs de résistances peuvent être localement plus faibles notamment sur la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, dans les travaux à moins de 30 m de profondeur, où existe une petite couche de 50 cm d'épaisseur, très riche en bitume, dont la résistance a été estimée à partir d'essais en compression simple à 6,8 MPa en 1887.

La valeur  $R_c = 18$  MPa a été utilisée afin de dimensionner les travaux souterrains postérieurs à 1977. Afin de tenir compte de l'effet d'éclatement, la valeur moyenne retenue pour une valeur d'éclatement de 1 a été de  $R_c = 22,5$  MPa (SFA, 1988).

Précisons que ces résultats ont été obtenus afin de dimensionner les nouvelles exploitations foudroyées pour garantir la tenue des piliers à court terme, pendant l'exploitation uniquement.

- 2) La deuxième approche possible est basée sur l'observation du comportement des travaux souterrains in situ. On recherche alors au fond, les zones toujours stables et les zones instables. Lorsque la largeur totale de la zone exploitée est au moins supérieure à une fois et demie 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. Dans le cas de la rétro-analyse, l'observation au fond permet d'estimer la profondeur à partir de laquelle les instabilités apparaissent. On détermine ainsi une valeur de résistance ultime du site. Ainsi, les inspections au fond, à diverses profondeurs dans les travaux souterrains de la SMAC, [7], [8] et de la SFA ont permis de constater que :

- dans les zones de Rébésou où les piliers ont 25 m de côté (taux de défrètement de 30 %), aucun mouvement de terrain au fond n'est perceptible. Par contre, à partir d'un taux de défrètement de 50 %, des déformations lentes, sans rupture, sont observées. A cette profondeur, l'estimation de la résistance à la compression des piliers in situ est calculée entre 9,5 à 13,5 MPa en fonction de la teneur en asphalte (pour une résistance à court terme de 22,5 MPa issue des essais) ;
- des effondrements ont été observés dans certains quartiers exploités par la SMAC pour des contraintes dans les piliers de 13 à 17 MPa ;
- les travaux moins profonds datant de 1930 sont stables, pour des contraintes in situ de l'ordre de 11 MPa.

On constate, suite à la rétro-analyse, que la résistance in situ, à long terme est égale à 0,5 à 0,6 fois la résistance instantanée au laboratoire ce qui est conforme à ce qui est constaté par ailleurs dans d'autres sites miniers.

---

<sup>1</sup> Les résultats des essais de résistance instantanée ( $R_c$ ) varient fortement entre les différents secteurs exploités :

- 30 MPa dans les quartiers est de la SMAC ;
- 14 à 22 MPa dans les quartiers ouest de la SMAC ;
- 18 MPa pour SFA à Rébésou.

Finalement, ne disposant d'aucune donnée issue d'essais ou même de constats issus de visites des travaux souterrains profonds de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, il a été retenu comme valeur représentative et raisonnable de la couche exploitée, une résistance à long terme de **11 MPa**. Cette valeur semble correspondre à une limite à partir de laquelle les piliers ont été observés stables dans les travaux souterrains de la SMAC. Cette valeur est aussi égale à la valeur moyenne pour laquelle des déformations apparaissent en souterrain à Rébésou. Elle sera retenue comme Ru de l'ensemble des travaux miniers étudiés.

### 3.4.2 Formation superficielles

La végétation au droit des travaux miniers à faible profondeur est principalement constituée de broussailles poussant sur un substrat très rocailleux caractéristique de l'altération superficielle d'un substrat rocheux peu profond.

Cette information est corroborée par les observations de terrain où des bancs calcaires affleurent ponctuellement mais régulièrement.

De plus, l'information récoltée lors du creusement des puits montre que les formations considérées comme massives et non altérées (au creusement) sont généralement rencontrées entre 1 et 2 m de profondeur.

Dans la suite de l'analyse, une épaisseur de terrains déconsolidés de **2 m** en surface a été retenue.

## 3.5 Contexte hydrogéologique

### 3.5.1 Hydrogéologie du bassin

Le principal aquifère régional est hébergé par les calcaires barrémiens massifs à faciès urgonien. Ceux-ci se trouvent en position perchée sur le plateau de Méjannes-le-Clap puis ils s'envoient, vers l'ouest, sous les terrains tertiaires. Pour Orengo [16], [17], les eaux qui s'infiltrent dans ce karst sont « *rapidement évacuées vers le niveau de base représenté par la Cèze* ». Il subsisterait cependant un emmagasinement non négligeable à l'origine du débit résiduel d'étiage des sources karstiques, dont celle de Galinier : on rappelle que cette source est également supposée être l'exutoire des eaux du plan incliné d'Avéjan (SMAC).

D'après les prélèvements réalisés en étiage, [16], [17] les résurgences situées à Montclus, en rive gauche de la Cèze, se distinguent de celles de Tharoux, en rive droite, par leurs concentrations plus élevées en sulfates (respectivement 46 à 82 mg/l contre 3 mg/l) et en chlorures (22 à 118 mg/l contre 10 mg/l). Il explique « *La présence de sulfates, et celle de chlorures, est due à des apports en provenance des formations géologiques vraisemblablement sannoisiennes<sup>2</sup> ou oligocènes, sans obligatoirement être une preuve d'un apport des eaux en provenance des exploitations d'asphaltes<sup>3</sup>* », [16], [17], Le niveau de base de ces circulations karstiques est le lit de la Cèze entre 85 et 100 m NGF.

---

<sup>2</sup> Le terme « sannoisien » est pris ici comme équivalent de « ludien »

<sup>3</sup> Il s'agit des exploitations de la SMAC

La formation exploitée des calcaires asphaltiques du Ludien affleure au nord-est de la faille Vian. On a vu précédemment que, au droit des anciens travaux miniers de la SFA, elle est surmontée par des marnes calcaires et des calcaires présentant de nombreuses discontinuités : ces observations sont l'indice d'un épikarst actif par lequel les eaux superficielles peuvent pénétrer dans les vieux travaux.

Cependant, les autres niveaux géologiques surmontant les calcaires asphaltiques peuvent être considérés comme imperméables du fait de la prédominance des marnes et calcaires marneux qui les constituent.

Les calcaires asphaltiques exploités sont très fissurés ou fracturés et les travaux miniers y ont fréquemment rencontré des venues d'eau parfois importantes. D'autre part, des puits et forages d'alimentation en eau sont implantés dans cette formation, dont le forage de Sisé situé en rive droite de la Cèze. Ces terrains constituent donc également une formation aquifère de type fissuré à karstique. D'après Orenge (1995), « *le réseau hydrographique qui draine la cuvette oligocène entre la Claysse, au sud, et la route de Barjac à Saint-Sauveur-de-Cruzières, au nord, le méridien de Barjac à l'est et celui de Saint-Sauveur à l'ouest, est le seul qui peut participer à l'alimentation du karst sannoisien<sup>4</sup>* ». Ces cours d'eau traversent en effet la série calcaire ludienne à l'affleurement à l'amont immédiat du site minier. Cette relation entre eaux superficielles et souterraines expliquerait la forte sensibilité de la plupart des venues d'eau aux précipitations.

Au-dessous de ces terrains se trouve un écran imperméable de calcaires marneux et de marnes. Quelques niveaux de gypse et de soufre, peu épais et discontinus témoignent, de l'absence de circulations aquifères à ce niveau, [16], [17]. Cependant, la forte minéralisation sulfatée observée dans certaines eaux souterraines du secteur (mines SFA et SMAC), ainsi qu'aux sources des Fumades<sup>5</sup>, provient très probablement du lessivage de niveaux soufrés et/ou sulfatés sous-jacents.

Sous ces formations réputées imperméables, on retrouve les calcaires urgoniens très karstifiés, en liaison hydraulique directe avec leurs affleurements au niveau des reliefs.

### 3.5.2 Hydrogéologie minière

Les mines souterraines exploitées par la SFA et la SMAC ont coexisté durant tout le XX<sup>ème</sup> siècle. Les concessions SFA et SMAC étant contiguës, leur développement respectif a conduit, localement, à la réalisation de travaux souterrains très proches.

Cette situation est rencontrée au nord-est de la concession de Rébésou où les travaux des deux sociétés ne sont séparés que de 30 m (largeur de l'investissson imposé par l'administration).

A la fin des années 1990, l'exploitation SMAC s'est arrêtée. Dans le cadre de sa cessation d'activité et de l'établissement du DADT, SMAC a mis en sécurité tous les accès à ses anciens travaux souterrains. Les puits ont été obturés en 2001.

La SFA poursuivant son exploitation à cette époque, il s'est avéré impératif de ne pas laisser l'eau s'accumuler au-dessus d'une cote de sécurité dans les anciens travaux de la SMAC, afin d'éviter les arrivées d'eau dans les travaux de la SFA.

---

<sup>4</sup> Le terme « sannoisien » est ici pris comme équivalent de « ludien » (terme officiel)

<sup>5</sup> Situées à 10 km de distance sur la même faille bordière du fossé d'Alès

La SMAC a ainsi mis en œuvre une exhaure de sécurité depuis la surface. Il s'agissait d'une installation de pompage qui permettait de maintenir le niveau d'eau dans la mine de la SMAC à la cote - 85 m NGF. Cette installation a été rendue opérationnelle en décembre 2000.

En décembre 2007, l'arrivée d'eau soudaine et importante dans la concession Rébésou de la mine de la SFA a conduit cette dernière à arrêter définitivement son exploitation. L'envoyage irrémédiable des travaux souterrains de la concession Rébésou a alors débuté. Dès lors, l'exhaure de sécurité pratiquée par la SMAC n'était plus nécessaire : elle a donc été stoppée en avril 2008.

L'envoyage des travaux souterrains des concessions de la SFA et de la SMAC s'est poursuivi jusqu'au milieu de l'année 2009, époque à laquelle on peut considérer qu'il était quasiment achevé pour l'ensemble des travaux.

## 3.6 Les travaux miniers

Les travaux souterrains ont majoritairement été réalisés sur une couche. Localement, des exploitations sur deux niveaux ont été menées, notamment sur la concession de Rébésou.

### 3.6.1 Historique des travaux miniers

Les **concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols** et de **Rébésou** ont été exploitées successivement de 1859 à 1932 pour la première, puis de 1932 à fin 2007, date d'arrêt des travaux souterrains pour la seconde.

Les travaux ont débuté à l'affleurement, sur la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, secteur de la Minette (Zone 1), par le biais de carrières de dalles de calcaire asphaltique. Ce matériau aux propriétés antiseptiques était utilisé localement pour la construction et le pavage dans les bâtiments d'élevages agricoles.

Ces travaux ont ensuite été poursuivis à partir des affleurements, sur les secteurs des entrées 1 et 2 (cette dénomination n'est pas historique : ces entrées n'avaient pas de nom). A cette période, la nouvelle attaque ou entrée Bond a été creusée et débouchait au niveau du nouveau carreau de mine, plus proche de la route.

En 1896, le puits Bond est foncé et permet un deuxième accès aux travaux souterrains, évitant d'avoir à remonter le minerai des parties basses de la mine par les plans inclinés. Ce quartier exploité en chambres et piliers (Zone 2) sera l'objet d'un important coup de toit en 1904.

En 1908, le puits Vian est foncé sur un nouveau quartier indépendant des anciens travaux (Zone 3). Il a été exploité entre 1910 et 1914. Ce sont les venues d'eau importantes dans les travaux de ce secteur qui ont conduits à stopper l'exploitation et abandonner ce quartier indépendant.

A partir de 1914, les travaux reprennent à partir du puits Bond, l'objectif étant de rejoindre à terme (après 1925) les anciens travaux du quartier du puits Vian. Une nouvelle recette a été creusée dans le puits Bond, 5 m au-dessus de l'ancienne recette abandonnée. Cette nouvelle recette était reliée aux travaux par un travers-banc (Zone 5).

Le petit puits a été foncé en 1920 afin de faciliter l'accès et l'extraction des quartiers sud (Zone 4).

A partir de 1930, les travaux se reportent progressivement sur la concession du Rébésou. Le fonçage du puits Goldney démarre. Les travaux de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols s'arrêtent définitivement en 1932, date du début des travaux souterrains sur le secteur du puits Goldney.

Sur la nouvelle concession de Rébésou, les travaux sont menés sur deux niveaux. Entre 1932 et 1950, les premiers travaux ont consisté à creuser un réseau de galeries parallèles dans la couche secondaire, la plus riche du gisement. Le triage était réalisé sur place (Zone 6). Compte tenu du foisonnement et de l'écrasement des piliers du fait de la charge du recouvrement, les stériles permettaient le rebouchage quasi-complet des vides de ce niveau.

Entre 1950 et 1977, date de la survenu d'un important coup de toit, les travaux ont été menés par le biais de la méthode des chambres et piliers sur la couche tertiaire (Zone 7).

Les travaux ont été poursuivis uniquement par traçage dans les parties Ouest et Sud du gisement. C'est à partir de 1988, que l'exploitation sur ces nouveaux quartiers tracés au Sud et à l'Ouest a été réalisée par la méthode des chambres et piliers foudroyés dimensionnés de manière à limiter les affaissements en surface (Zone 8).

En 2008, l'arrêt des travaux a été provoqué par l'invasion brutale des quartiers en cours de foudroyage, par des eaux d'origine profonde, à un débit largement supérieur aux capacités d'exhaure de la mine.

L'exploitation dans les périmètres des **concessions de Fontcouverte** et de **Mas Taulelle** a débuté au sud et autour du village d'Avéjan, à partir du Plan Incliné d'Avéjan en 1903. Ce quartier a été exploité jusqu'en 1925. Il est resté isolé des autres travaux plus récents.

En 1907, le puits Delamare a été foncé. Il a permis d'exploiter au sud du carreau de la mine, un panneau à une centaine de mètres de profondeur. Ce panneau restera isolé du reste de l'exploitation et s'arrêtera en 1920.

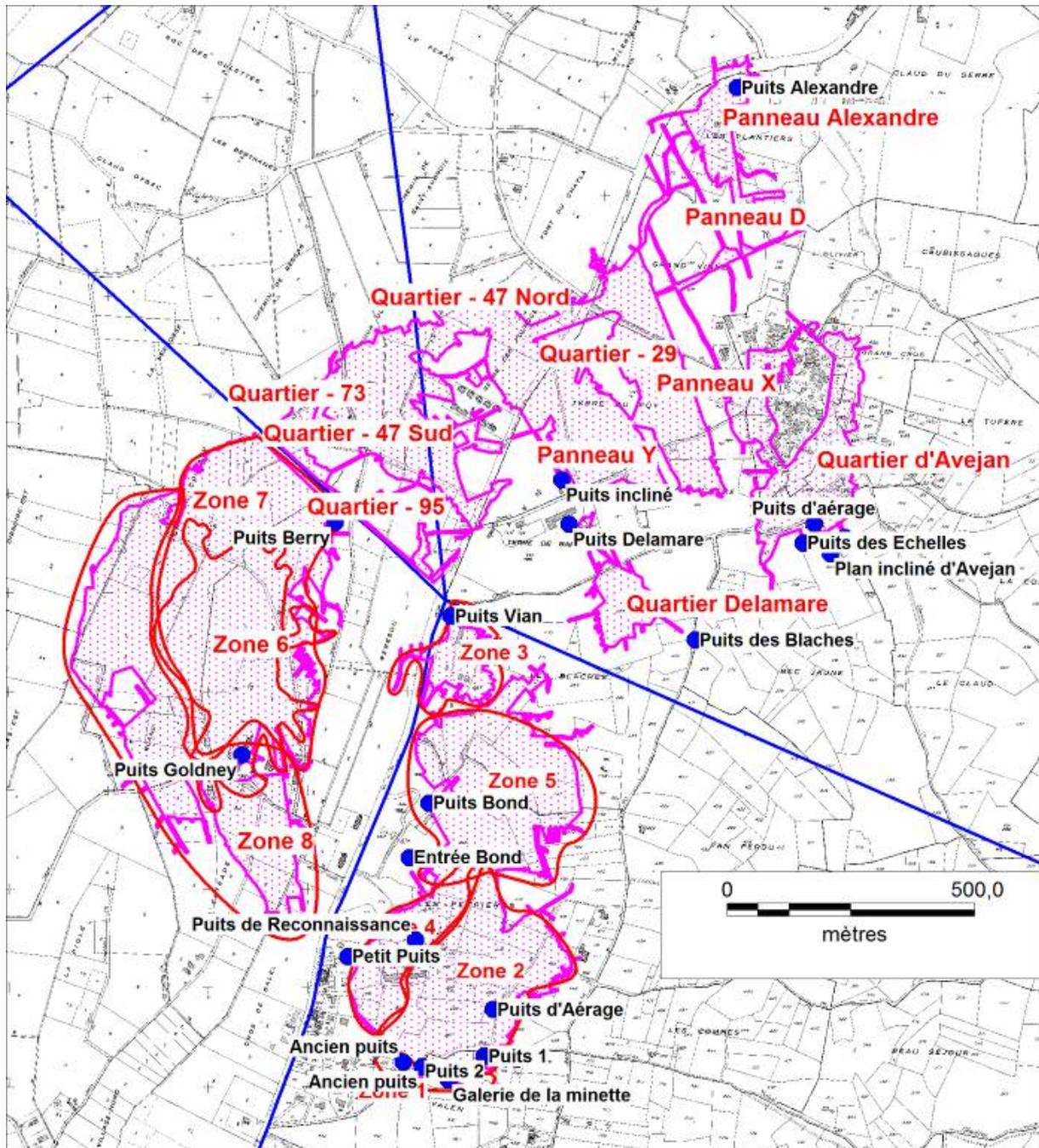
En 1916, le puits des Blaches est foncé afin de reconnaître le gisement. D'une profondeur de 65 m, ce puits a peu servi. Seules deux horizontales ont été creusées. Aucun chantier n'a été poursuivi au-delà de 1920.

Les puits Alexandre a été foncé entre 1922 et 1924. Le Quartier Alexandre a été exploité à partir de cet ouvrage jusqu'en 1936, date à laquelle il a été converti en puits de secours des travaux du puits Incliné avec lesquels il était connecté.

Les travaux souterrains réalisés à partir du puits Incliné sont les plus importants de l'exploitation de la SMAC. Ils comprennent plusieurs quartiers subdivisés localement en panneaux ; le quartier dit du puits Incliné qui comprend les panneaux -47, -73, -95, -29, les quartiers dit des X, des Y et D (ce dernier a seulement été tracé). L'exploitation s'est déroulée entre 1932, date de fin d'équipement du puits et 1990 pour le quartier des X.

### **3.6.2 Description des travaux et méthode d'exploitation**

Les travaux et méthodes d'exploitation sont décrits par concession et par secteur, ci-après. L'illustration 7 présente les différents secteurs, zones, quartiers ou panneaux analysés. Sur l'illustration 8, les différentes caractéristiques d'exploitation sont synthétisées.



*Illustration 7 : Localisation générale des secteurs de travaux*

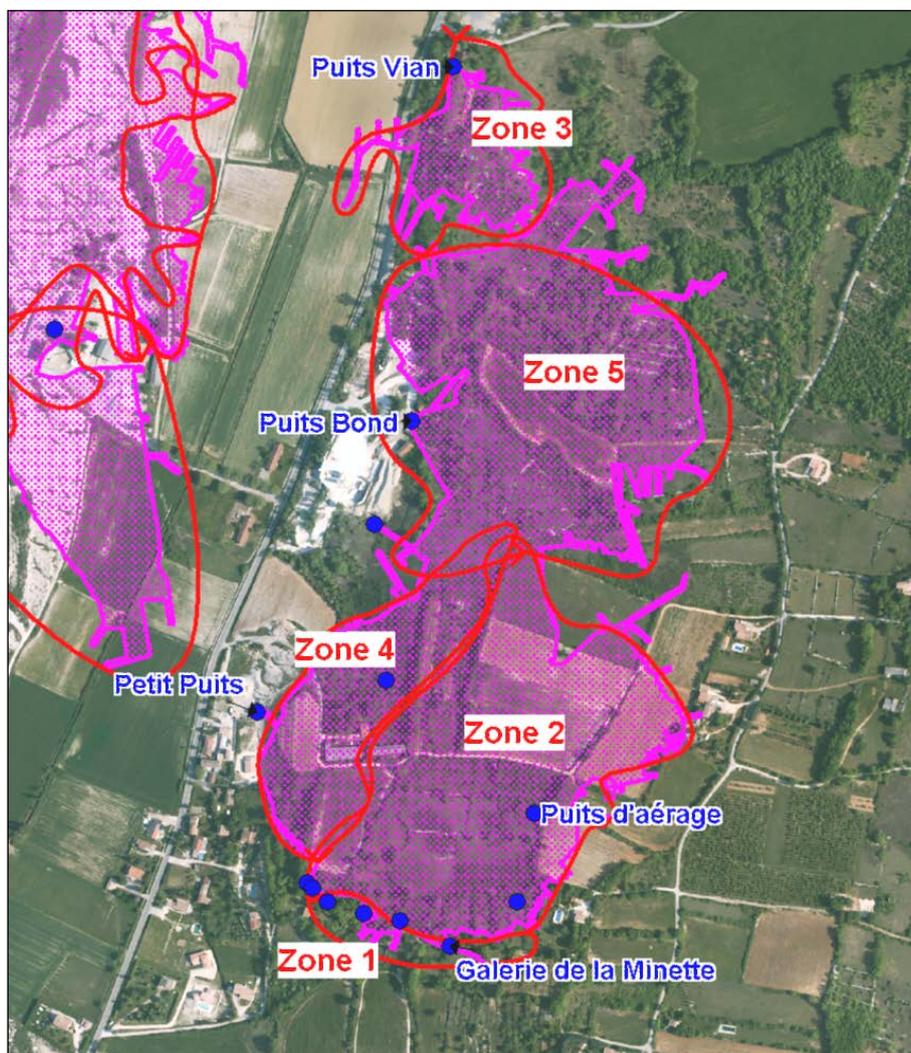
	Zones	Méthode	Dates	Prof (min/max)	Largeur (m)	Ouverture (m)	Taux de défrètement
Concession de Saint-Jean-de-Maruéjols	Zone 1 ou Travaux de La Minette	Galerie isolée et travaux superficiels	<1859 - 1866	0 - 20	1,5	1,5	-
	Zone 2 ou Travaux en chambres et piliers antérieurs à 1910	Chambres et piliers abandonnés, localement et/ou partiellement remblayés	1866 - 1910	0 - 60	8 - 10	1,5 - 2,2	-
	Zone 3 ou Travaux du puits Vian	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage des chambres	1908 - 1914	100 - 115	4 - 5	3 - 4	60 %
	Zone 4 ou Travaux du Petit Puits	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage des chambres	1914 - 1930	20 - 45	3 - 4 et 5 - 6	1,6	75 - 80 %
	Zone 5 ou Travaux du Puits Bond	Chambres et piliers abandonnés non remblayés	1904 - 1932	50 - 100	10	1,8	75 à 80 %
Concession de Rébésou	Zone 6 ou Travaux en chambres et piliers antérieurs à 1950	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage des chambres	1932 - 1950	220 - 280	4 - 5	2,5	75 %
	Zone 7 ou Travaux en chambres et piliers de 1950 à 1977 (zone 7)	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage de 45 % des chambres	1950 - 1977	220 - 280	5	3 - 4,5	75 à 80 %
	Zone 8 ou Travaux de 1977 à 1988	Traçage de galeries et larges piliers	1977 - 1988	-	-	3	75 %
	Partie sud-ouest de la zone 8	Ilots foudroyés	1988 - 2008	275 - 300	5	7,5	-

		Zones	Méthode	Dates	Prof (min/max)	Largeur (m)	Ouverture (m)	Taux de défructement	
Concessions de Fontcouverte et Mas Tauelle SMAC		Quartier d'Avéjan	Tailles chassantes remblayées (80 % de la surface exploitée). Chambres et piliers abandonnés, sans torpillage ni remblayage (20 % de la surface exploitée)	1920 - 1925	<50 m pour certaines zones	75	2,5	75 %	
		Travaux du puits Delamare	Traçage de galeries et de piliers. Dépilage très local (50 m <sup>2</sup> ) puis remblayage.	1907 - 1920	100	40	2,5	60 %	
		Travaux du Puits Alexandre	Traçage de galeries et de piliers.	1924 - 1934	70 - 110	80	4 – 4,5	-	
		Travaux du Puits Incliné	quartiers - 47 Nord, -47 Sud, -73, -29	Chambres et piliers abandonnés non remblayées probablement foudroyés naturellement (sans mécanisation)	1932-1970	160/230	60 à 160	4-5	70 %
			panneaux X et Y	Chambres et piliers probablement foudroyés naturellement (avec mécanisation)	1964-1994	100/140	60 à 110	7-8	60 à 80 %
		D et -95	Non exploités	-	-	-	-	-	

**Illustration 8 : Paramètres d'exploitation sur les différents secteurs**

### 3.6.2.1 Concession de Saint-Jean-de-Maruéjols

L'illustration 9 présente la localisation des différentes zones d'exploitation rattachées à la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols. Il s'agit des zones 1 à 5.



**Illustration 9 : Localisation des zones d'exploitation sur la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols**

#### ➤ Travaux de la Minette (Zone 1)

Sur ce secteur, les travaux sont probablement antérieurs à 1859. Ils ont été réalisés tout d'abord à ciel ouvert sur l'affleurement puis ont été poursuivis en souterrains.

Une unique galerie a été creusée en prolongement d'une tranchée et d'exploitations à ciel ouvert. Cet ouvrage a été visité par l'INERIS en 2009 sur les 70 à 80 m de longueur accessible (Illustration 10). Compte tenu de l'état et des dimensions de celle-ci à son extrémité, il est raisonnable de penser qu'elle ne doit pas être beaucoup plus longue. Cet ouvrage suit la couche, légèrement en montant (2 à 3 %).

Ses dimensions sont réduites (1,5 m de largeur maximale / 1,5 m de hauteur maximale) (Photos 1 et 2). Cet ouvrage chemine entre 5 et 10 m de profondeur, entre son entrée et son extrémité Est.

Deux chambres d'exploitation de quelques m<sup>2</sup> ont été observées à 30 m et 40 m de l'entrée, vers le nord. Ces chambres sont remblayées jusqu'à 40 cm du toit (Photo 3). Les vides résiduels sont faibles.



**Illustration 10 : Tracé de la galerie de la Minette sur fond de BD Ortho<sup>®</sup> et BD Parcellaire<sup>®</sup> de l'IGN**



**Photo 1 : Galerie de la Minette à 10 m de l'entrée (photo INERIS)**



**Photo 2 : Galerie partiellement remblayée/effondrée à environ 30 m de l'entrée (photo INERIS)**



**Photo 3 : Chambre d'exploitation remblayée (photo INERIS)**

➤ Travaux en chambres et piliers antérieurs à 1910 (Zone 2)

Ces travaux correspondent au passage d'une phase artisanale à une phase industrielle. A partir des premiers grattages sur les affleurements du Sud, les mineurs ont progressivement attaqué le massif en souterrain, parallèlement aux anciens fronts de taille.

Les premiers travaux (1866 à 1870) étaient situés à faible profondeur. L'extraction consistait à mener de front deux galeries parallèles montantes de 5 m de largeur et à recouper le pilier central de 4 m par des recoupes espacées de 5 m. L'ouverture des chantiers était de 2,20 m. Dans ces anciens quartiers, le glanage dans les anciens piliers a finalement abouti à des chambres de 8 à 10 m de largeur qui ont finalement été confortées par des piliers maçonnés en 1872.

Ce n'est qu'en 1872 que l'entrée 2 de la mine est aménagée. Un plan incliné automoteur est aménagé dans une tranchée jusqu'à la route pour faciliter l'extraction. L'extraction se faisait jusqu'alors par les débouchés au jour des galeries de niveau, sans aménagement particulier.

Les travaux sont arrêtés entre 1873 et 1879.

A la reprise des travaux, le schéma final d'exploitation consiste toujours à laisser en place des piliers de 3 à 4 m de côté espacés de 4 à 5 m pour une ouverture de 2 m à 2,25 m sauf :

- Dans la partie sud-est où seul le banc supérieur a été pris avec le banc stérile (PV de 1891). L'ouverture n'est donc que de 1,5 à 1,6 m ;
- En s'approfondissant vers l'ouest, où le banc supérieur riche en bitume disparaît, l'exploitation ne concerne que le banc inférieur et le banc stérile (ouverture 1,6 à 1,8 m).

On notera qu'il est régulièrement fait mention de remblayage des travaux. Le PV de 1886 précise même que « les galeries en direction et en remontées sont complètement remblayées sur 2 m de largeur, les surplus sont mis dans les recoupes... ». Précisons que ces galeries mentionnées font initialement 4 m de largeur.

La Nouvelle Attaque (ou entrée Bond) est creusée en 1886 et débouche au niveau du nouveau carreau de mine, plus proche de la route. Elle rejoindra le gîte en 1889.

En 1888, l'entrée 1 est créée. Elle débouche 7,5 m plus bas que l'entrée 2 (PV de 1888).

En 1896, le puits Bond a été creusé fournissant ainsi un deuxième accès aux travaux souterrains, évitant ainsi d'avoir à remonter le minerai des parties basses de la mine par les plans inclinés.

Cette méthode d'exploitation en chambres et piliers abandonnés a été employée jusqu'en 1903, entre la surface et environ 60 m de profondeur. Le schéma d'exploitation aboutit à un taux de défrètement de 75 à 80 % (Illustration 11).

A partir de 1903, une variante de la méthode des chambres et piliers abandonnés est développée afin de réexploiter les quartiers Sud-Est, les plus riches en bitume. Cette méthode, mise en œuvre dans la partie nord de la Zone 2, consiste à reprendre la couche la plus riche en bitume, située au sommet des piliers laissés en place. Afin de maintenir le toit, l'exploitant n'enlevait cette couche de 50 cm d'épaisseur et le banc calcaire stérile que sur la moitié de la surface d'un pilier après avoir remblayé les vides entre chaque pilier (Illustration 12), en ne laissant que des passages de 1,5 m de largeur. Le vide créé sur le pilier est comblé par des remblais. L'exploitant espérait ainsi soutenir le toit.

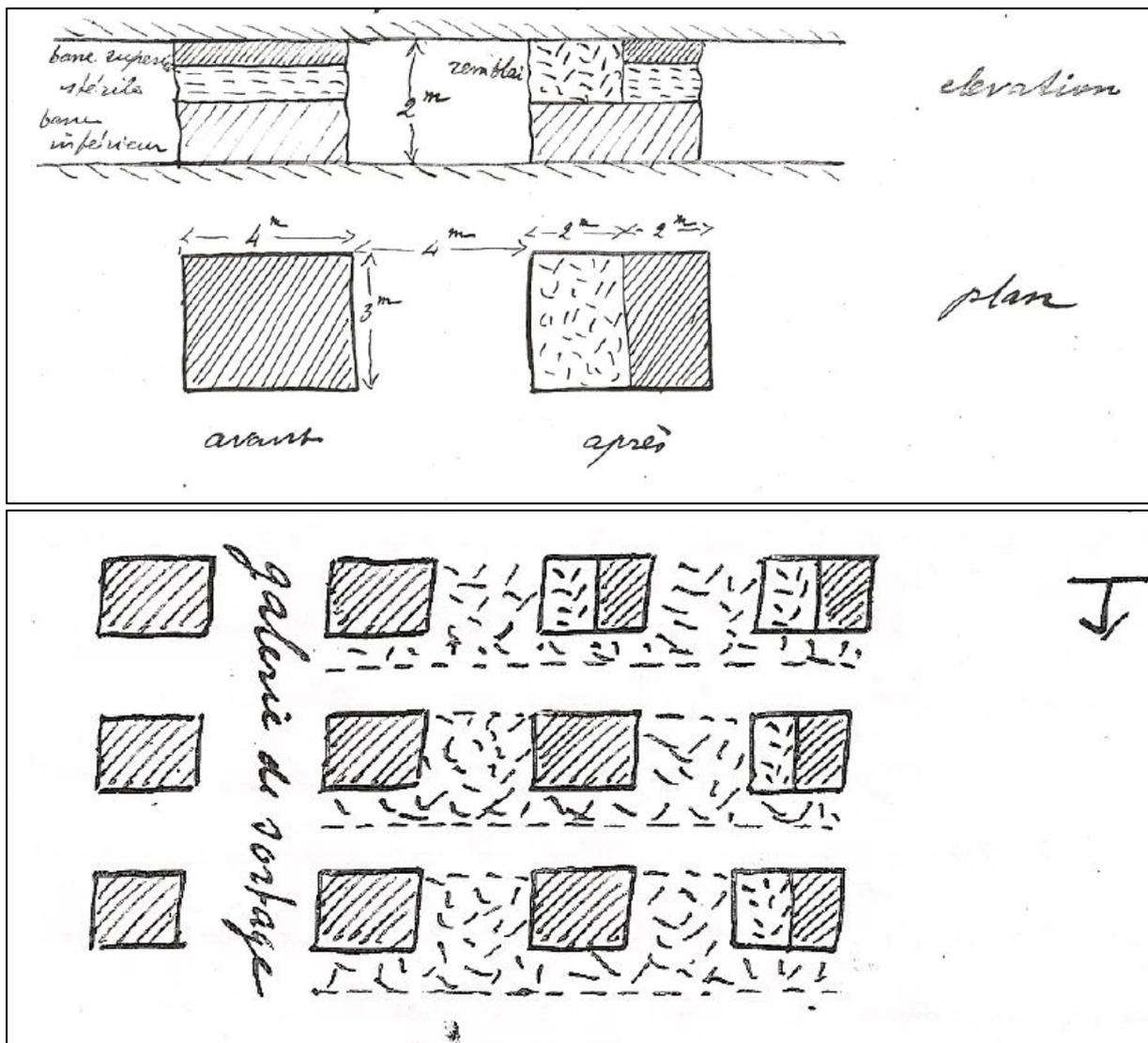
Le 17 janvier 1904, un important coup de toit, issu a priori du secteur en cours de reprise des piliers provoque l'éboulement de la majeure partie des travaux souterrains.

Après l'éboulement, les travaux reprennent au Nord dans le secteur du puits Bond (Zone 5).

En parallèle, un nouvel accès pour les ouvriers est créé en zone vierge entre la base du puits Bond et l'ancien accès 1. Les travaux sur ce secteur ont pour objectif d'occuper les ouvriers lorsque les travaux plus profonds sont noyés par les fortes pluies. Les travaux de ce secteur cessent en 1910.



**Illustration 11 : Travaux souterrains en chambres et piliers antérieurs à 1904**



**Illustration 12 : Principe de reprise des piliers et remblayage en 1903**

➤ Travaux du puits Vian (Zone 3)

Sur ce secteur, les travaux ont eu lieu entre 1908, date de fonçage du puits Vian et 1914, date d'arrêt des travaux sur ce secteur consécutif à l'envoyage brutal du puits en pleine période de mobilisation (début de la première guerre mondiale). Le dénoyage des travaux, tenté par la suite, dans les années 1920, ne sera jamais réalisé.

Ces travaux ont la particularité d'être indépendants de tout le reste de la mine même si, à l'origine, il était prévu une mise en communication avec le puits Bond. Cette séparation est liée à la présence d'une zone très faillée qui décale le gisement vers le bas par rapport aux travaux du puits Bond.

Sur ce secteur les travaux sont situés entre 100 et 115 m de profondeur et ont été réalisés par la méthode des chambres et piliers au pendage (environ 10° vers le Nord-Ouest) (Illustration 13).

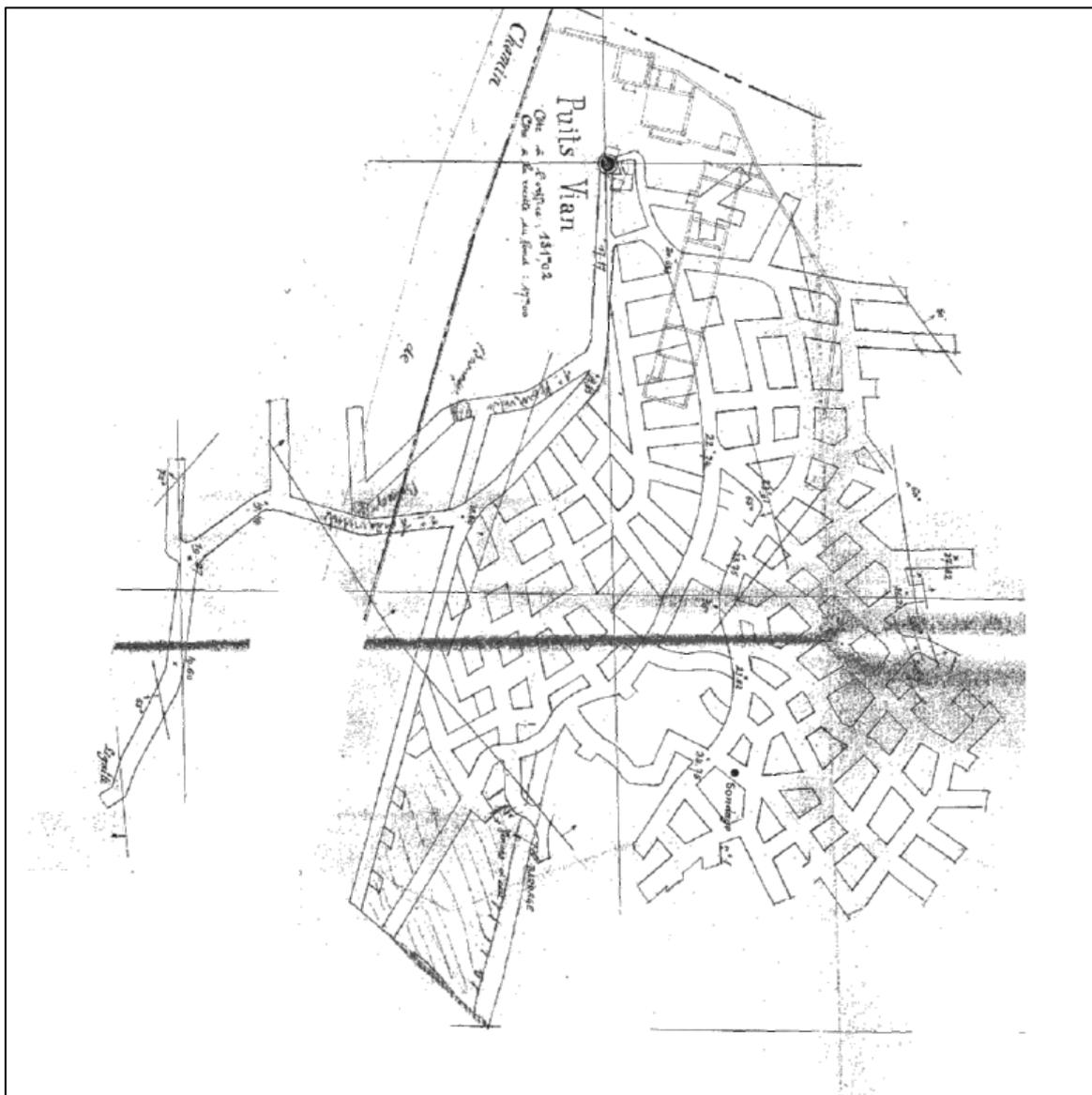
Les travaux étaient réalisés par dépilage entre deux galeries montantes distantes de 5 à 6 m et larges de 4 à 5 m (PV de 1912), laissant en place des piliers de 6 m par 5 m environ. Le taux de défrètement est de l'ordre de 60 %.

La couche exploitable, de 3 à 4 m d'épaisseur, était prise en trois fois, abattue à l'explosif, en remontant :

- La première tranche de 1,5 m d'épaisseur prise au mur, triée sur place ;
- La deuxième tranche abattue sur les remblais de la première, de même épaisseur, triée sur place ;
- Une troisième tranche, d'environ 1 m, abattue suivant le même principe.

La couche exploitée était triée sur place. Le foisonnement des remblais était tel qu'une partie devait être sortie au jour faute d'espace suffisant au fond.

Le volume résiduel des vides est donc probablement très faible sur cette zone.



**Illustration 13 : Travaux souterrains du puits Vian**

➤ Les travaux du Petit puits (Zone 4)

Les travaux de la zone 4, au contact de la zone 2 ont débutés après l'arrêt des travaux du puits Vian en 1914. Ces travaux consistent en des dépilages dans des zones pauvres en bitume (seulement 30 % de la couche est utilisable). Ces travaux correspondent au prolongement vers l'aval pendage, des vieux travaux éboulés.

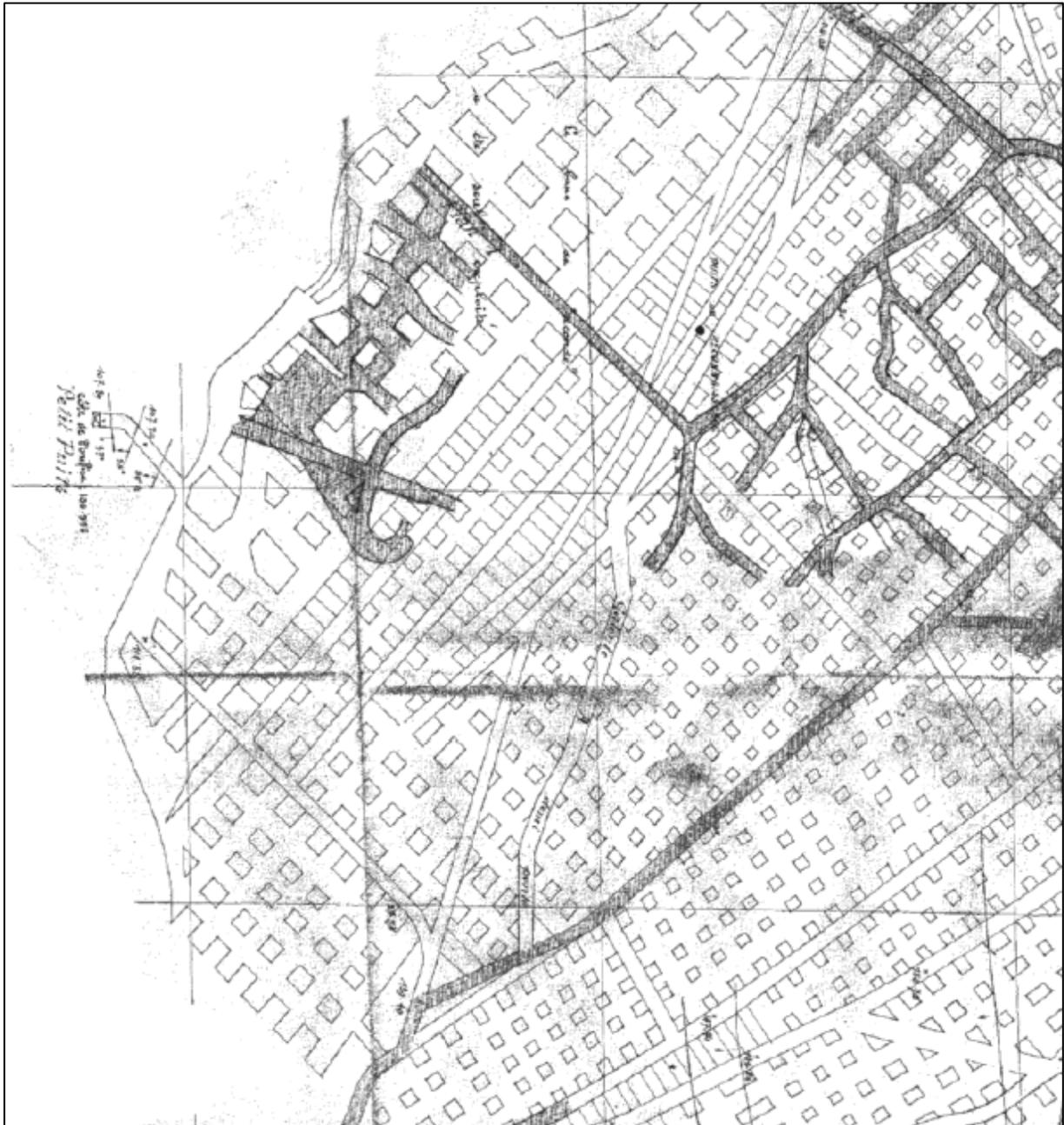
La couche supérieure s'appauvrissant en s'approfondissant, elle n'a plus été exploitée. Seule la couche inférieure a été prise sur une ouverture de 1,60 m (PV de 1916) à des profondeurs comprises entre 20 et 45 m.

La méthode d'exploitation est celle des chambres et piliers abandonnés. Le schéma d'exploitation a évolué en partie basse, proche du puits. Les dimensions des piliers sont passées de 3 m par 3 m à 5 m par 5 m, les galeries de 3 à 4 m à 5 à 6 m. Le taux de défruitement est de l'ordre de 75 à 80 %.

Les réseaux de galeries grisées sur l'illustration 14 correspondent à des reprises locales des talons de la couche inférieure non exploités à l'époque.

Le Petit puits, d'une profondeur de 23 m, est foncé vers 1920. Il aboutit au toit de la couche.

Compte tenu de la pauvreté de la couche, le triage au fond produisait un grand volume de stériles mis en remblais. Le volume des vides résiduels est donc probablement très faible sur cette zone.



**Illustration 14 : Travaux souterrains en chambres et piliers du Petit puits**

➤ Les travaux du puits Bond (Zone 5)

Les travaux sur ce secteur ont débutés avant la mise en service du puits Vian, juste après le coup de toit de 1904.

Sur ce secteur, le pendage du gisement est de 15 à 20° vers le Nord-Ouest. Il est plus penté vers l'est. Les premiers travaux ont consistés à exploiter le banc supérieur en taille montante d'une dizaine de mètres de largeur, sur une ouverture de 1,8 m. Ces derniers travaux ont été arrêtés en 1910.

Après le dénoyage du puits Bond en 1924, les travaux ont repris dans le but de rejoindre ceux du puits Vian. La couche, très irrégulière à cause de la présence de nombreuses failles, est située entre 50 et 100 m de profondeur.

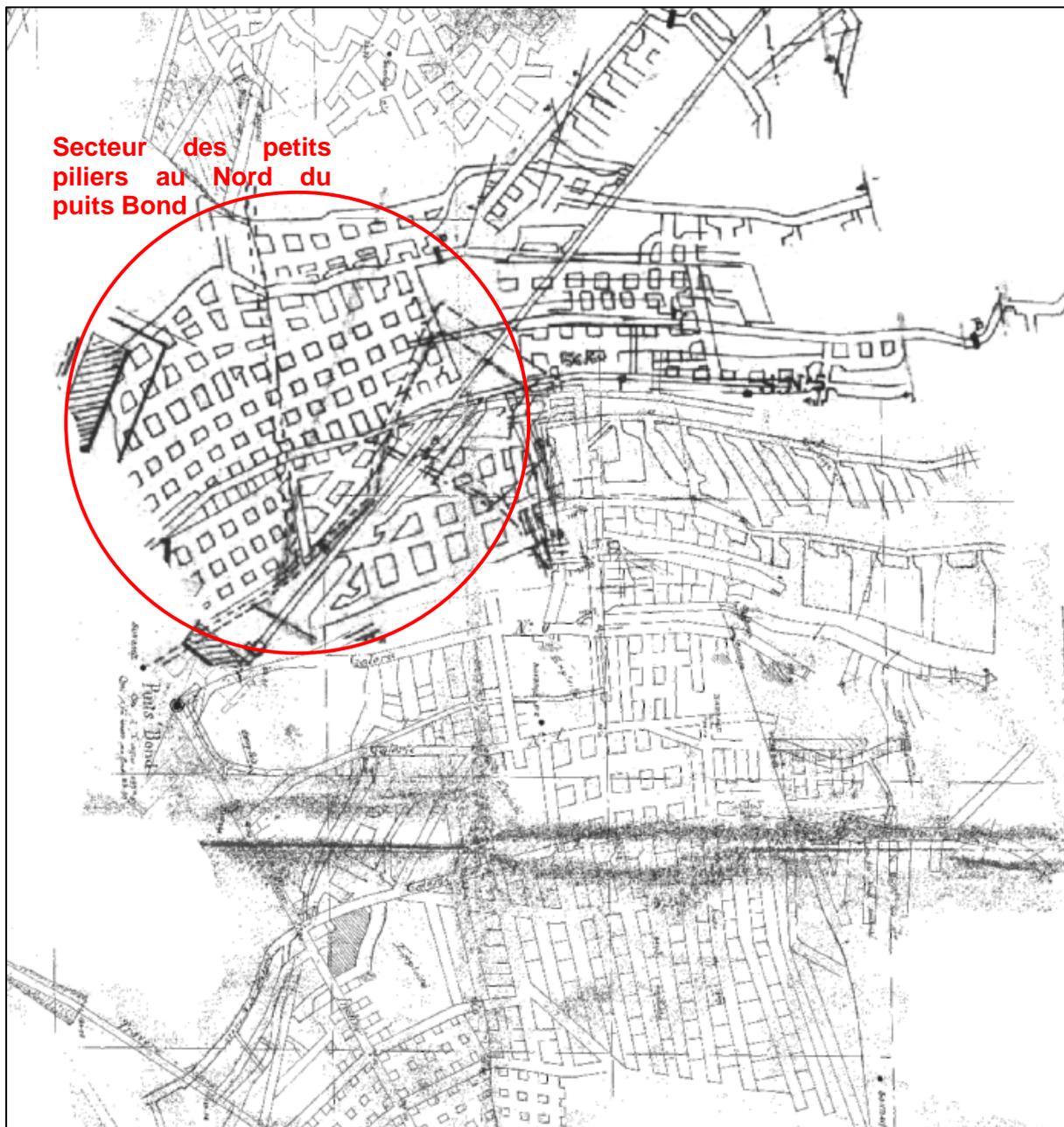
La couche exploitable est variable : parfois la couche supérieure a été exploitée, parfois la couche inférieure a été exploitée. Les méthodes d'exploitation ont été adaptées à chaque configuration rencontrée (dépilage, taille montante, élargissage, chambres et piliers), en laissant toujours en place des massifs de terrains entre les différents chantiers jouant le rôle de stots.

Un panneau plus défruté situé au Nord du puits Bond (Illustration 15) a été exploité en chambres et piliers avec une ouverture de l'ordre de 1,6 m à une profondeur comprise entre 70 et 100 m. Les piliers ont pour dimensions approximatives 5 m par 5 m pour des galeries de 5 m soit un taux de défrutement de 75 %.

Précisons que le niveau d'envoyage des travaux de l'ancien puits Vian est situé au-dessus du niveau des travaux du puits Bond. De ce fait, de fortes venues d'eau ont rendu la tâche très difficile dans les niveaux les plus profonds, le débit pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres cubes à l'heure.

Des injections de ciment dans les fractures sont réalisées ainsi que la pose de portes barrages afin de limiter les venues d'eau dans les chantiers.

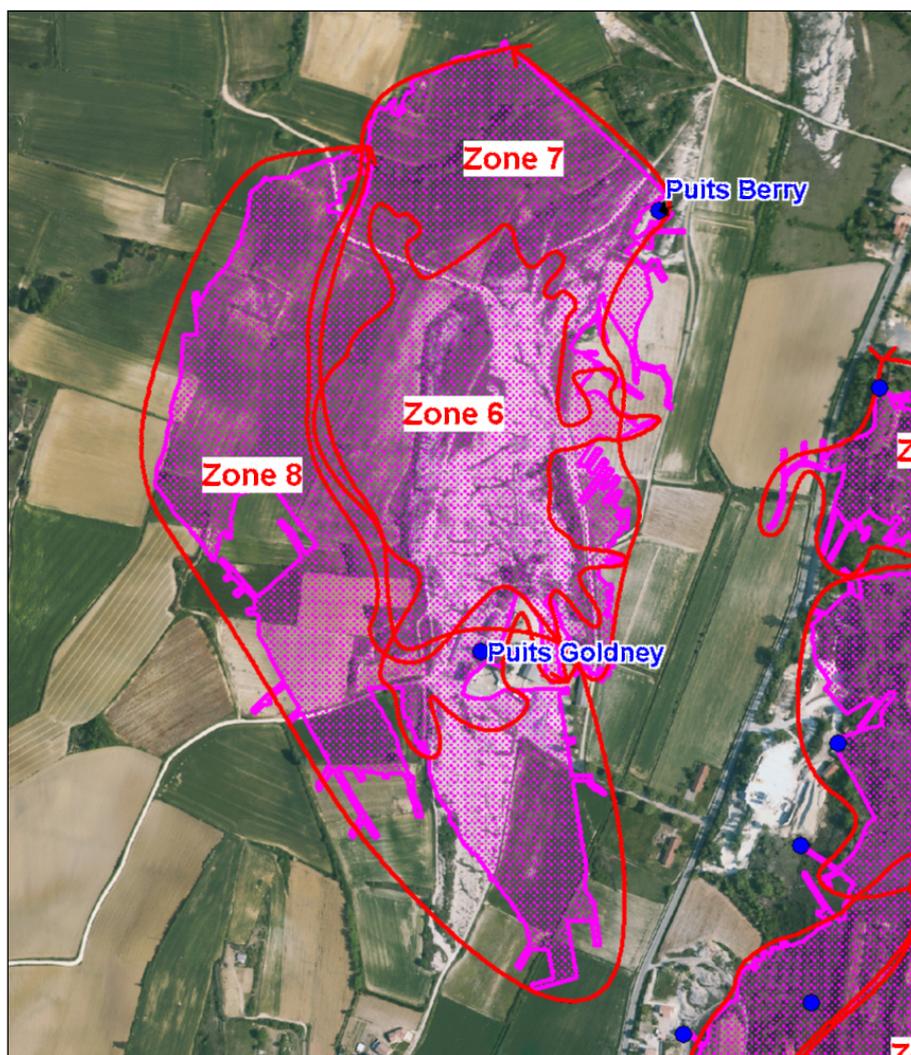
Les travaux souterrains sur la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols se sont terminés par ce secteur en 1932.



*Illustration 15 : Travaux souterrains du puits Bond*

### **3.6.2.2 Concession de Rébésou**

L'illustration 16 présente la localisation des différentes zones d'exploitation rattachées à la concession de Rébésou. Il s'agit des zones 6 à 8.



**Illustration 16 : Localisation des zones d'exploitation sur la concession de Rébésou**

➤ Travaux en chambres et piliers entre 1932 et 1950 (Zone 6)

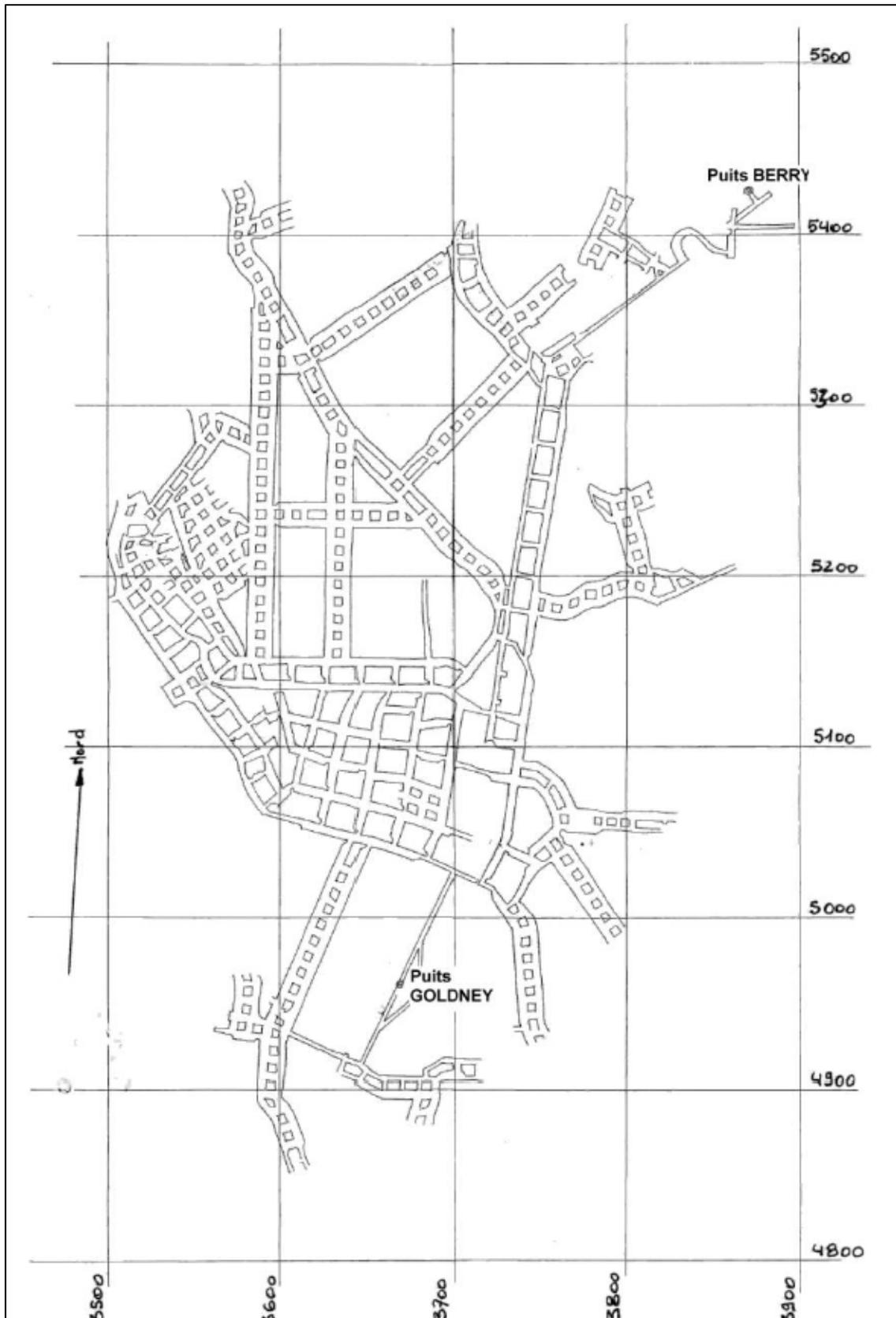
Ces travaux concernent uniquement la couche supérieure ou couche secondaire, la plus riche en asphalte, située à une profondeur comprise entre 220 et 280 m du Nord au Sud. L'ouverture exploitée est d'environ 2,5 m (Illustration 17).

Dans les parties les plus anciennes, le schéma d'exploitation est semblable à des chambres et piliers abandonnés. Il consistait principalement au traçage de deux galeries parallèles de 4 à 5 m de largeur. Le pilier en long de 5 m, laissé entre les deux, était recoupé (recoupes de 5 m) de manière à ne laisser que des petites piliers de 5 m par 5 m.

Pour les parties les plus récentes, le dimensionnement en chambres et piliers était pour les parties les plus à l'ouest, des piliers de 5 m par 5 m espacés de 5 m dans les deux directions, donnant un taux de défrètement de 75%. Pour les parties plus à l'est, des piliers de 10 à 12 m suivant les deux directions, séparés par des galeries de 5 m.

La méthode d'exploitation de l'époque consistait, après abattage à l'explosif, au triage au fond puis à l'extraction et au transport par wagonnets vers la recette du puits Goldney, le puits Berry était utilisé comme retour d'air et accès de secours. Les résidus du triage étaient directement utilisés comme remblayage, montés en murets le long des piliers en place.

Du fait du remblayage et de la forte convergence constatée des piliers, il n'existe quasiment plus de vide résiduel dans cette couche. Ceci a d'ailleurs été observé en quelques points lors de la visite au fond de L'INERIS en 2008.



**Illustration 17 : Travaux souterrains en couche secondaire sur la Zone 6**

➤ Travaux en chambres et piliers entre 1950 et 1977 (Zone 7)

Sur cette zone, l'exploitation a porté sur la couche tertiaire suivant la méthode des chambres et piliers abandonnés. Ces exploitations concernent la majeure partie du domaine exploité sur la concession de Rébésou.

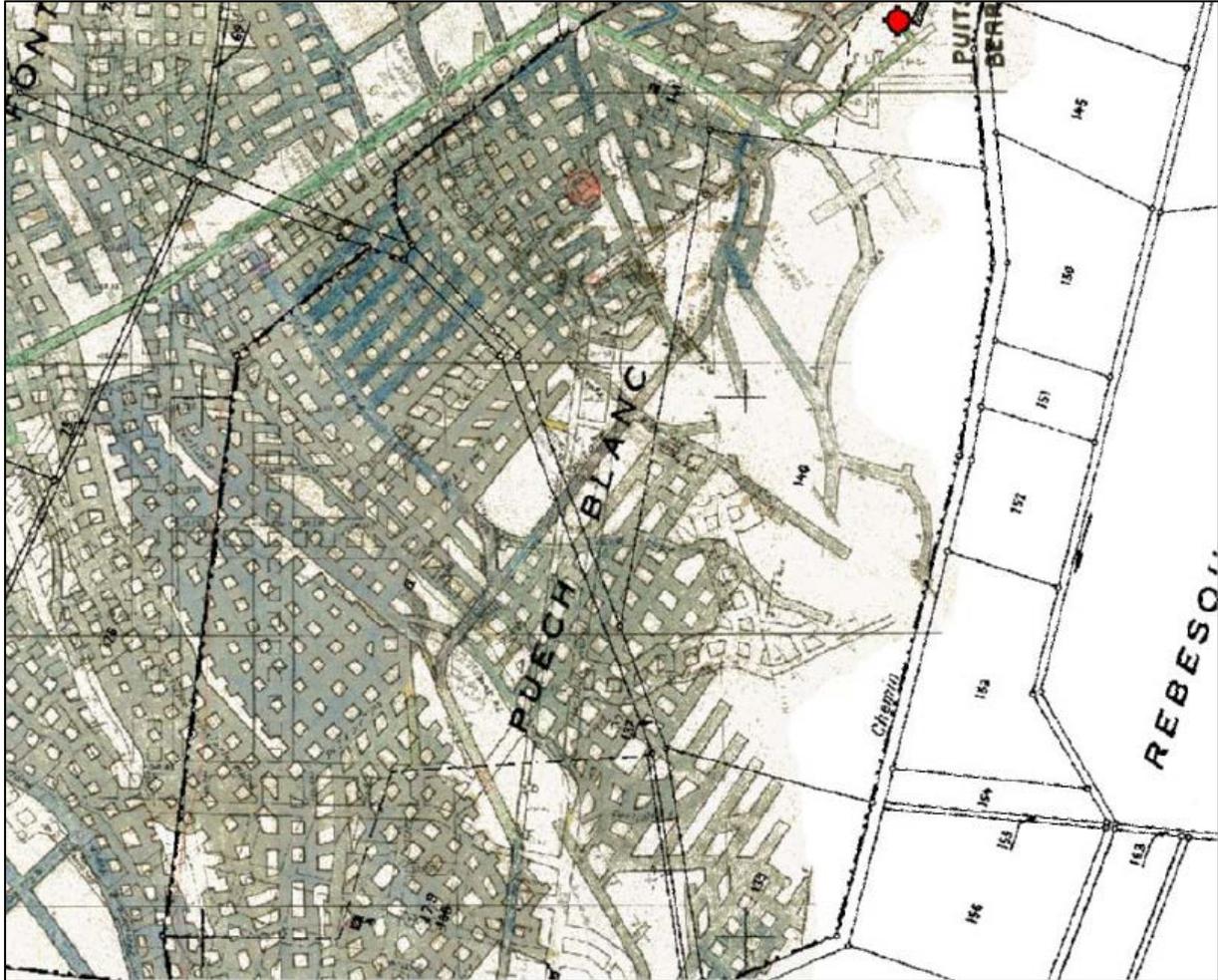
Les travaux sont situés entre 220 et 280 m de profondeur et ont une ouverture de 3 à 3,5 m, pouvant localement atteindre 4,5 m.

Le schéma d'exploitation consistait au creusement de deux galeries de 5 m de largeur en montant dans la couche et distantes de 5 m puis à dépiler en rabattant, en laissant en place des piliers de 5 m par 5 m séparés par des recoupes de 5 m. Le taux de défrètement de ces quartiers est de l'ordre de 75 à 80 % (Illustration 18).

Afin de limiter l'extraction au jour, le triage était effectué au fond, les résidus directement mis en remblais partiel des vides. Environ 1/3 de la couche abattue est stérile. Compte tenu du foisonnement des terrains abattus, environ 45 % du volume des vides créés sont remblayés à l'avancement.

Cette méthode a été utilisée jusqu'en 1977, date de survenue d'un important coup de toit sur toute la partie Nord des travaux souterrains qui a conduit à l'arrêt des travaux de ce secteur.

L'extraction se faisait dans les chantiers par raclage puis chargement sur un blindé, le transport au fond étant assuré par des bandes transporteuses jusqu'à la recette du puits Goldney. Le puits Berry est utilisé comme accès de secours et retour d'air.



**Illustration 18 : Travaux souterrains en couche tertiaire sur la Zone 7**

➤ Travaux réalisés entre 1977 et 1988 (Zone 8)

Après le coup de toit de 1977, les travaux en chambres et piliers ont été abandonnés. Les travaux souterrains ont alors été déplacés vers le Sud-Ouest où un vaste réseau de galeries d'infrastructure et de traçages (Illustration 19) a été creusé au Sud du puits Goldney. Ces traçages ont permis de maintenir la production. En parallèle, l'exploitant a cherché à développer une nouvelle méthode d'exploitation de type foudroyage, pour ces nouveaux quartiers tracés.

➤ Secteurs foudroyés récents (partie sud-ouest de la zone 8)

A partir de 1988, une méthode par piliers foudroyés a été employée. Le principe général de cette méthode était d'exploiter en chambres et piliers puis à torpiller à l'avancement le petit pilier résiduel afin de provoquer l'éboulement des terrains sus-jacents. La règle de dimensionnement a été établie par analogie aux mines de fer de Lorraine, c'est-à-dire que la bande exploitée fait moins de  $0,4 \times H$  de largeur. Cette configuration permet de limiter au maximum les affaissements en surface. La profondeur H des travaux est située entre 275 et 300 m.

Le minerai est abattu à l'explosif et transporté par des engins « trackless » vers un concasseur et la cheminée de stockage puis repris par l'installation d'extraction. Le phasage de l'exploitation était le suivant :

- creusement de galeries espacées de 15 m orientée nord-sud, d'une largeur de 5 m pour 2,5 m d'ouverture, au mur de la couche ;
- creusement d'allées et de recoupes implantées tous les 10 m ; l'objectif de ce schéma est d'aboutir à des piliers résiduels de 5 m par 5 m de côté ;
- abattage dans les galeries se faisant au toit suivant la méthode des gradins inversés de 1 à 2 m de hauteur pour 2 m de longueur, à l'explosif, en montant sur le minerai précédemment abattu ; la hauteur finale des chambres est d'environ 7,5 m ; le minerai est extrait une fois l'abattage terminé ;
- torpillage du pilier résiduel.

L'avancement du front se fait normalement à 45° par rapports aux galeries tracées.

Le panneau de l'illustration 20 était celui qui était en cours d'exploitation, dans la partie nord, à l'arrêt de la mine en 2007.

Le schéma de dimensionnement retenu a finalement porté ses fruits puisqu'à l'heure actuelle, les foudroyages au fond se sont déroulés correctement et moins de 10 cm d'affaissement ont été observés à l'aplomb de ces travaux pour une ouverture au fond de 7,5 m.

Ces travaux souterrains n'ont pas pu être visités en 2008 car ils étaient déjà enoyés.



**Illustration 19 : Traçages réalisés entre 1977 et 1988 au Sud du puits Goldney**



*Illustration 20 : Secteurs foudroyés après 1988*

### 3.6.2.3 Concessions de Fontcouverte et Mas Taulelle

Contrairement aux exploitations des deux précédentes concessions qui sont totalement disjointes, les travaux des concessions de Fontcouverte et Mas Taulelle sont continues (Illustration 21).

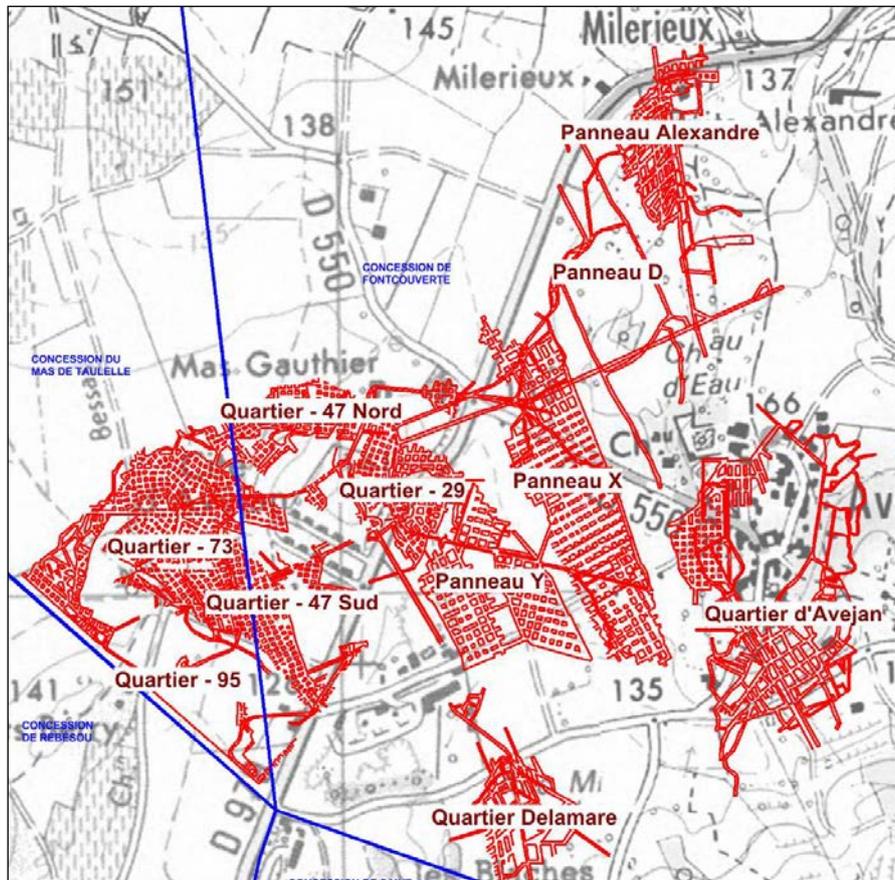
La méthode d'exploitation de l'ensemble du gisement exploité sur ces deux concessions a été principalement celle des chambres et piliers abandonnés.

Cependant, selon les périodes il y a eu quelques différences (dimensions de piliers notamment) qui traduisent la chronologie de l'exploitation au sein de panneaux ou quartiers dans leur intégralité (11 quartiers ou panneaux).

La méthode d'exploitation a également évolué en fonction des moyens mis en œuvre en particulier le chargement : à la main, partiellement mécanisé et totalement mécanisé sans oublier la perforation et le soutènement.

Ci-après les méthodes d'exploitation sont présentées dans un ordre chronologique, à savoir :

- Quartier d'Avéjan ;
- Travaux du puits Delamare ;
- Travaux du Puits Alexandre (ou Panneau Alexandre) ;
- Travaux du Puits Incliné (tous les autres panneaux et quartiers) :
  - Période 1933 – 1973 sans la mécanisation ;
  - Période 1973 – 2001 avec la mécanisation (engin de chargement transport sur pneus).



**Illustration 21 : Localisation des zones d'exploitation sur les concessions de Fontcouverte et Mas Taulelle**

### ➤ Quartier d'Avéjan

Influencée par les exploitations minières environnantes de Barjac, la majorité de l'extraction s'est faite sur ce quartier par tailles chassantes remblayées.

Partant d'un plan incliné, des galeries de niveau, presque horizontales, étaient tracées en est et ouest, la distance entre chacun de ces niveaux était de 25 m environ. Puis, entre chaque niveau, des recoupes ont été creusées afin de délimiter des panneaux de 25 x 20 m environ, ces galeries servant également pour l'aérage.

Chaque panneau était alors exploité comme une taille avec remblayage au fur et à mesure de l'avancement.

Le remblai était constitué par la partie stérile de la couche, le triage se faisant sur place : par exemple, dans l'exploitation du banc supérieur, pour une ouverture de 1,50 m seulement la moitié était prise en tant que produit marchand l'autre moitié, considérée comme stérile à cause de sa faible teneur en bitume, servait de matériau de remblai.

Cette méthode d'exploitation par tailles chassantes remblayées a été utilisée sur environ 80 % de la surface exploitée. Pour les autres 20 %, les mineurs de l'époque ont extrait la roche d'asphalte en mettant en œuvre la méthode des chambres et piliers abandonnés, sans torpillage de ceux-ci ni remblayage. Avec cette méthode d'exploitation les piliers font 5x5 m avec galeries de 5 mètres également. La hauteur exploitée est de 2,5 m.

Cette dernière méthode a été appliquée sur la partie nord-ouest du panneau. Elle a permis avec 4 à 5 chantiers simultanés d'assurer une importante production entre 1920 et 1925.

### ➤ Travaux du puits Delamare

L'exploitation à partir du Puits Delamare n'a pas représenté un gros volume. La production est estimée à 30 000 tonnes. Ceci s'est traduit par des travaux de traçage ou d'infrastructure avec une galerie de roulage principale qui partait de la recette fond du puits Delamare pour monter progressivement en direction du puits des Blaches. Partant de cette galerie, des galeries horizontales ont été tracées de part et d'autre et dénommées « horizontale 0 - 1 - 2 - 3 Ouest » et « horizontale 0 - 1 - 2 Est » ainsi que, compte tenu de la géométrie du gisement, des descenderies est et ouest.

Il semblerait que seule une petite surface de l'ordre de 50 m<sup>2</sup> ait été dépilée et remblayée. L'ensemble des galeries ainsi creusées représente un linéaire de 1200 mètres environ et concerne une superficie de 2,5 ha.

Depuis son abandon en 1920 les galeries et le puits Delamare sont noyés.

### ➤ Travaux du puits Alexandre

Exploité entre 1924 et 1934, la méthode d'exploitation mis en œuvre dans ce secteur est identique à celle menée sur le Puits Delamare. Elle comprend une galerie principale de roulage avec treuil en son point haut pour faire circuler les wagonnets, sur laquelle viennent se greffer des galeries dites horizontales.

Sur ce panneau, qui n'a pas été exploité dans sa totalité, la méthode mise en œuvre est donc celle des chambres et piliers abandonnés. Compte tenu du profil de la couche et du travail en « horizontales » les piliers n'ont pas des dimensions géométriques uniformes et sont, dans l'ensemble, surdimensionnés ce qui confère à ce quartier une grande stabilité des terrains, même 65 ans après l'arrêt des travaux. Ceci s'explique également par le fait que la couverture au-dessus du panneau ne dépasse guère 100 mètres d'épaisseur et donc par une faible charge sur les piliers résiduels. Par contre la hauteur exploitée est voisine de 4 m et atteint parfois 4,5 m.

Il est à noter qu'il existe un périmètre de protection de la source de Fontcouverte, périmètre dont l'exploitant a toujours tenu compte, à l'intérieur duquel il n'y eut aucune exploitation.

#### ➤ Travaux du puits Incliné

Mis en service en 1933, le puits Incliné est resté opérationnel jusqu'au 15 janvier 2001, date de la dernière cordée et du début du démantèlement du puits. Il a été évacué par ce puits environ 2 000 000 tonnes d'asphalte, en 65 ans.

Notons deux périodes distinctes en termes d'exploitation souterraine :

- 1933 - 1973 : utilisation des wagonnets pour l'évacuation de la roche ;
- 1973 - 2001 : chargement et transport de la roche au fond avec des engins sur pneus.

#### ✓ Période 1933 – 1973 (quartiers -47 Nord, -47 Sud, -73, -29) sans mécanisation

La méthode d'exploitation était celle des chambres et piliers abandonnés. Les dimensions de ceux-ci étaient de 5x5 m avec galerie de 4,5 à 5 m. La hauteur exploitée était de 4 m environ pouvant atteindre 5 m. Compte tenu de la plus grande profondeur de l'exploitation, relativement aux travaux de puits Alexandre ou Delamare, les piliers sont dits « affaissables ».

La particularité de la période 1933-1973 réside dans le fait que, compte tenu du pendage de la couche (jusqu'à 30 %) et de l'utilisation des wagonnets en voie de 60 cm, il fallait pour faire circuler les berlines prendre en compte au mieux la géométrie du gisement. Pour faciliter la tâche du mineur, des descenderies étaient creusées suivant la ligne de plus grande pente et des horizontales étaient alors tracées à partir de ce plan incliné, les wagonnets étant tractés à l'aide d'un treuil à air comprimé dans les descenderies et poussés par les mineurs dans les horizontales. Cette solution a conduit à tracer des galeries d'exploitation en fonction de la topographie de la couche et se traduit sur le plan des travaux par un non alignement des piliers résiduels. Les panneaux ou quartiers : -47 Nord, - 47 Sud, -73, -95 ont été exploités suivant cette méthode.

#### ✓ Période 1973 – 2001 (panneaux X et Y) avec mécanisation

A partir de 1973, la mise en service d'engin diesel sur pneus (chargeur transporteur) a modifié le mode d'exploitation de la couche. Avec ces moyens totalement autonomes il était possible de monter et descendre des pentes jusqu'à 25 % et également de tourner et manœuvrer dans n'importe quelle galerie à partir du moment où ses dimensions le permettaient.

De plus cette mécanisation et les besoins en asphalte ont conduit à exploiter en grande hauteur (7 à 8 m) tout en défruitant au maximum. Cette solution conduisant d'ailleurs à la ruine des piliers et au foudroyage naturel des terrains. Les panneaux X et Y ont été exploités ainsi alors que les panneaux D et -95, du quartier du puits Incliné n'ont pas été exploités.

## 3.7 Etat actuel du site

### 3.7.1 Visite des travaux souterrains par l'INERIS

#### 3.7.1.1 Concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols et de Rébésou

En février 2008, la SFA a convié l'INERIS à une dernière visite des travaux miniers souterrains de la mine de Rébésou. Celle-ci s'est déroulée une semaine avant l'envoyage de la recette basse du puits Goldney, condamnant définitivement l'accès au fond.

La visite a commencé au puits Goldney, pour rejoindre la base du puits Berry en suivant le réseau de galeries (Photo 4) constituant l'accès de secours et le retour d'air maintenu en état à travers les vieux travaux de la couche tertiaire. Puis la visite s'est poursuivie vers le sud jusqu'à la rencontre de l'eau (Photo 5) qui se situait à cette date à la limite sud entre les travaux antérieurs à 1977 et les nouveaux quartiers dit quartiers Goldney-sud.

Lors de cette visite, l'INERIS a pu constater l'état évolutif de la mine. De nombreux signes de convergence au fond étaient visibles dans les galeries d'infrastructure : écrasement des piliers, torsion et coulissement des soutènements, chutes de toit et de parements de piliers.

L'INERIS a fait le même constat d'instabilités dans les quelques chantiers encore visitables dans des conditions de sécurité acceptables. La convergence toit-mur est visible. Les chantiers se referment naturellement et de nombreux chantiers sont partiellement remblayés par les triages réalisés au fond (Photo 6).



*Photo 4 : Indices de convergence dans les galeries d'infrastructures dans les travaux de 1950 à 1977 entre les puits Goldney et Berry (INERIS, 2008)*



*Photo 5 : Niveau de l'ennoyage en février 2008*



*Photo 6 : Vieux travaux éboulés*

### **3.7.1.2 Concessions de Fontcouverte et Mas Taulelle**

Pour les anciens travaux de la SMAC, seuls les travaux du puits Alexandre étaient encore accessibles en 2000 en majeure partie (+ de 90 %), les 10 % restant étant noyés.

Cet état de fait a permis à l'INERIS de constater que les piliers ne subissaient pas d'écrasement sous la contrainte des terrains de recouvrement et qu'ainsi la « *stabilité à long terme du quartier Alexandre était assurée* » [7], [8].

Quelques galeries étaient aussi encore accessibles dans le sud du quartier d'Avéjan. Abandonnée depuis plus de 70 ans, la majeure partie de cette ancienne exploitation n'était plus accessible lors de l'établissement du DADT.

Il est donc difficile de décrire l'état dans lequel étaient ces vieux travaux. Cependant, un coefficient de sécurité de 5,7 avait été retenu en 1995 [7], [8] et la conclusion que « *la stabilité à long terme est assurée* » dans les chambres et piliers (seule zone de l'exploitation non remblayée) avait été avancée.

Les parties exploitées par la méthode de tailles chassantes remblayées ne généraient aucun risque en raison des remblais observés. En effet, dans la petite partie visitable, l'INERIS constatait que les remblais avaient bien rempli leur rôle et qu'ils étaient encore en parfait état. Quant aux galeries, elles étaient en général de faible section mais leur état était variable : cela allait de la galerie intacte jusqu'à la galerie obstruée par effondrement.

Enfin, le puits incliné lui-même était dans l'ensemble en bon état, seule une zone avait subi des petits effondrements dus à la nature des terrains qui constituaient le toit en cet endroit précis. Il s'agit de calcaires marneux bien stratifiés altérés par l'air ambiant, très chargé en humidité.

Il existe au sud de la partie exploitée des galeries dont le recouvrement de terrain est de faible épaisseur. L'étude INERIS [8] a mis en évidence pour quelques-unes de ces galeries, un risque de fontis qui nécessitait un traitement adapté pour supprimer ce risque.

### **3.7.2 Les ouvrages débouchant au jour**

Sur l'ensemble de la commune 23 ouvrages débouchant au jour ont été recensés à partir des données recueillies sur le terrain et des archives. La majeure partie de ces ouvrages correspond à des puits.

L'illustration 22 liste l'ensemble des ouvrages débouchant au jour relevés ainsi que leurs caractéristiques. Cet inventaire résulte des constatations de terrain réalisées à l'époque par l'INERIS (Photos 7 à 20). La majorité de ces ouvrages n'est plus visible en 2015 compte tenu des travaux de comblement réalisés dans le cadre des procédures d'établissement des DADT.



N°	Nom ouvrage	Rôle	Concession	Matérialisé	Position	Diamètre	Profondeur	Commentaires
1	Puits Goldney	Exploitation	Rébésou	Oui	dGPS	4	276	Puits principal (1932-2007), entièrement remblayé et bouchon béton.
2	Puits Berry	Aéragé	Rébésou	Oui	dGPS	3.5	205	Puits de secours et d'aéragé (1935-2007), entièrement remblayé et bouchon béton.
3	Puits Bond	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	3	69	"Muraillé" jusqu'à au moins 50m de profondeur. En 2009, servait de point d'eau à la centrale béton proche. (1896-1932), connexion minière remblayée sur 10 m puis nouvelle dalle en tête réalisée en 2008.
4	Puits Vian	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	3.5	121	(1908-1914) "muraillé" au moins jusqu'à 71 m de profondeur. Remblayage de la colonne réalisé, bouchon béton pas encore réalisé en 2015 suite à contentieux avec la SFA.
5	Petit Puits	Inconnu	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	3	23	(1921-1932) "muraillé" sur 8 m puis directement au rocher. 3x2m sur 19 m puis 2x2m au-delà, entièrement remblayé et bouchon béton.
6	Entrée Bond	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	2 x 2	S/0	(1879-1905) Section semi-circulaire (H=1.9m, l=1.8m), "muraillé" sur au moins 35m de long. Entrée bouchée en béton puis remblayée.
7	Puits de Reconnaissance	Recherche	Saint-Jean-de-Maruéjols	Non	Calage	-	20	Recherche vers 1905. Positionné à partir d'un calage de plan d'archive. Dépression circulaire (D7) à proximité de l'emplacement supposé du puits. Situé sur terrain naturel en friche.
8	Puits d'Aéragé	Aéragé	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	-	26	Situé dans parcelle naturelle en friche. (<1869-1905). Dépression circulaire (D6) (5x5m) à l'emplacement du puits.
9	Puits 1	Inconnu	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	-	10	Situé dans parcelle naturelle en friche. Origine minière incertaine (<1869-1905).
10	Puits 2	Inconnu	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	-	10	Situé dans parcelle naturelle en friche. Origine minière incertaine (<1869-1905).
11	Galerie de la minette	Recherche	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	2 x 2	S/0	Entrée à l'affleurement. Etat galerie très dégradé (intérieur), 90m de longueur. Effondrée à la pelle puis remblayée.
12	Ancien puits	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Non	Calage	-	14	Calage plan d'archive. Situé dans parcelle naturelle en friche. Plusieurs fontis dans la parcelle voisine (15m au plus près de l'emplacement supposé du puits). (<1864-1905) Puits déjà cité comme "ancien" en 1904.
13	Ancien puits	Inconnu	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	3 x 3	10	Structure en pierre en demi-lune. Origine minière incertaine (peut-être réserve d'eau). Possible effondrement (aménagé) sur travaux (<10m de profondeur a priori).
14	Entrée mine1	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	-	-	Cône de remblais récent déversé au-dessus de l'entrée. Période travaux miniers <1869-1905. Entrée invisible.
15	Entrée mine2	Exploitation	Saint-Jean-de-Maruéjols	Oui	dGPS	-	-	Cône de remblais récent déversé au-dessus de l'entrée. Période travaux miniers <1869-1905. Entrée invisible.
16	Puits incliné	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	5	135	Puits incliné remblayé + bouchon béton 8m en tête + évent (2001). 270m de long à 45° = 135m de profondeur.
17	Puits Delamare	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	4.8	113.8	En 2000, puits remblayé + bouchon béton en tête (travaux définis par INERIS). Foncé en 1907, fin travaux vers 1920.
18	Puits des Blaches	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	4	65	En 2000, puits remblayé + bouchon béton de 6/7m en tête (travaux définis par INERIS). Foncé en 1916, fin travaux 1920.
19	Puits des Echelles	Inconnu	Fontcouverte	Oui	dGPS	1.5	13	Puits remblayé à l'abandon du quartier, complément béton en tête (4m) lors du DADT (2000). Autre source profondeur = 20m.
20	Puits d'aéragé	Aéragé	Fontcouverte	Oui	dGPS	1	17	Puits comblé à l'abandon du quartier. Complément 2m béton en tête au moment du DADT (2000).
21	Puits Malo	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	4	12	Puits comblé à l'abandon du quartier. Complément matériau en tête de puits au moment du DADT (2000). Galerie en pied remblayée aussi pour éviter débouillage.
22	Plan incliné d'Avejan	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	2.8	-	Ouvrage de 50 m de longueur. En 2000 (DADT), colonne entièrement comblé de tout venant. 3m de hauteur, 250m de longueur à 15%.
23	Puits Alexandre	Exploitation	Fontcouverte	Oui	dGPS	5	108.8	En 2000/2001, puits entièrement remblayé + bouchon béton de 10m en tête + évent. Foncé à partir de 1922.

**Illustration 22 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des ouvrages débouchant au jour**





**Photo 7 : Dalle du puits Vian**



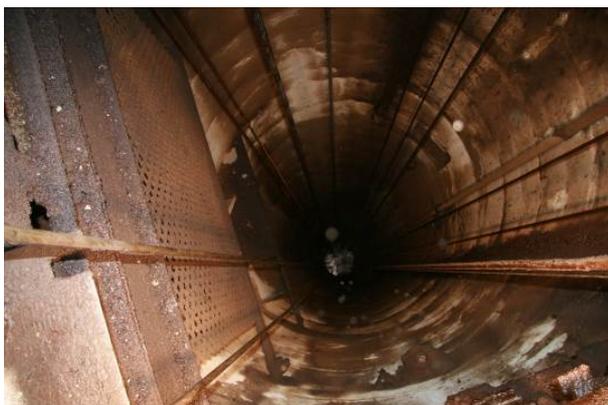
**Photo 8 : Dalle du puits Bond**



**Photo 9 : Tête du petit puits**



**Photo 10 : Chevalement du puits Berry**



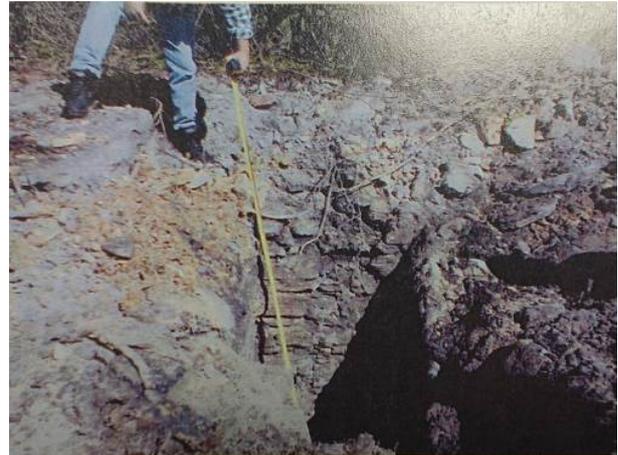
**Photo 11 : Colonne du puits Goldney avant remblayage intégral**



**Photo 12 : Entrée Bond ou nouvelle attaque avant sa fermeture**



**Photo 13 : galerie de la Minette avant foudroyage**



**Photo 14 : Petit puits d'aérage d'Avéjan avant bétonnage**



**Photo 15 : Localisation des entrées 1 et 2 de la mine de Saint-Jean-de-Maruéjols**



**Photo 16 : Tête du puits incliné pendant son bétonnage**



**Photo 17 : Puits des échelles pendant son bétonnage**



**Photo 18 : Puits des Blaches en cours de démolition**



**Photo 19 : Puits Delamare en cours de sécurisation**



**Entrée Plan Incliné d'Avéjan**

**Photo 20 : Entrée du plan incliné d'Avéjan**

### **3.7.3 Les ouvrages de dépôts**

Sur le secteur d'étude, les travaux souterrains ont produit peu de stériles en surface. En effet, tout au long des périodes d'exploitation, un triage régulier était réalisé au fond : les stériles étaient immédiatement employés pour le comblement des vides.

Les seuls dépôts connus sont liés au creusement de puits principaux (puits Berry, Goldney et Vian). Ces stériles ont servi à l'établissement de plates-formes, supports des bâtiments de la mine. La localisation de ces dépôts est présentée sur la carte informative (Annexe B). Les pentes intégratrices sont proches de 30° au maximum.

Aucun dépôt n'a été identifié sur les concessions de Fontcouverte et de Mas-Taulelle. Il est cependant probable que des dépôts similaires existent à proximité de chaque puits sans qu'il soit possible de les observer actuellement.

Les ouvrages de dépôts observés sont principalement constitués de matériaux grossiers (calcaires, marnocalcaires...) avec peu de fines leur conférant ainsi un caractère plutôt drainant.

Ces matériaux sont considérés comme inertes et ne sont donc pas susceptibles d'entrer en combustion et encore moins être l'objet de dégagement gazeux, de feu ou d'explosion.

Il y a très probablement eu des dépôts liés au triage du minerai au jour. Il n'en subsiste cependant aucune trace actuellement.

### **3.7.4 Les désordres**

#### **3.7.4.1 Rétro-analyse des accidents passés**

Deux accidents d'exploitation majeurs ont été identifiés. Un premier, datant de 1904, concerne les travaux à faible profondeur dans la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols. Le second, en 1977, concerne les travaux souterrains de la concession de Rébésou.

Deux coups de charge se seraient aussi produits dans les travaux de Fontcouverte dans les années 1950 et 1960 mais ces derniers ne sont pas assez documentés et ne seront pas détaillés par la suite.

### ➤ Coup de toit de 1904

En décembre 1904, une majeure partie de la mine en exploitation sur la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols s'éboule au fond (Illustration 23) pendant l'exploitation du quartier.

L'effondrement s'étant déroulé un dimanche, il n'existe pas d'information précise sur le mécanisme. Des témoignages ultérieurs, recueillis dans différents PV de 1904, indiquent cependant que le phénomène a dû démarrer au niveau des chantiers de reprises des anciens piliers, au nord (Illustration 24) puis s'est propagé en quelques jours à l'ensemble du quartier. Les galeries ébouleées n'ont pas permis de vérifier l'étendue exacte des secteurs concernés.

La stabilité de ce secteur de travaux avait été vérifiée en 1887 suite à une recommandation du Service des Mines. L'objectif était de vérifier la stabilité des mines et carrières exploitées en chambres et piliers à faible profondeur, en France, suite à l'effondrement de la carrière de Chancelade en Dordogne. Des essais ont été réalisés pour cela sur des échantillons de roche prélevés dans d'anciens piliers.

Les résultats des essais de 1887 sont les suivants :

- Rc max : 18 MPa à la base des piliers ;
- Rc moy : 12 à 15 MPa dans l'asphalte de deuxième qualité ;
- Rc mini : 6,8 MPa dans le banc le plus riche en asphaltite de la couche de première qualité au sommet des piliers.

Les échantillons avaient été prélevés dans des piliers réalisés depuis plus de 10 ans dans un quartier exploité entre 10 et 30 m de profondeur. On rappellera qu'à cette profondeur, les couches de minerai sont beaucoup plus altérées qu'à grande profondeur et donc généralement moins résistantes.

A cette époque, il avait été conclu que le schéma d'exploitation retenu garantissait la stabilité des travaux jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur. Les hypothèses de calculs étaient les suivantes :

- profondeur maximum : 30 m ;
- résistance du calcaire asphaltique : valeur la plus faible obtenue dans le niveau supérieur le plus riche en bitume soit 6,8 MPa ;
- poids des terrains de recouvrement :  $2,2 \text{ T/m}^3$  ;
- taux de défrètement : 75 % ;

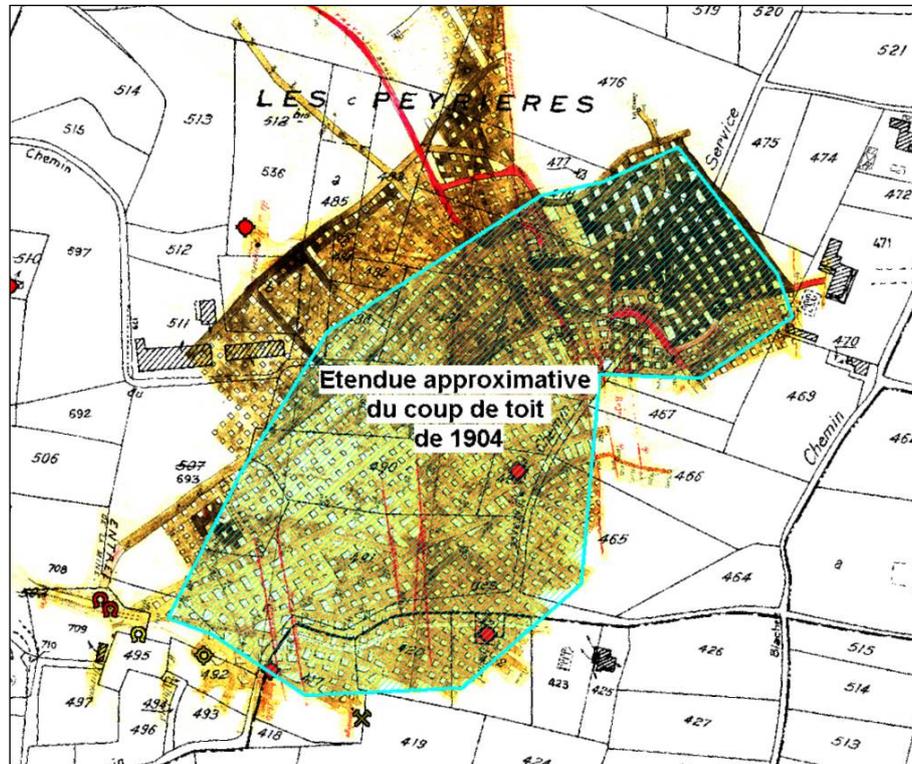
Le résultat des calculs suivant le modèle de l'aire tributaire conduit à un facteur de sécurité  $F_s$  d'environ 3.

Par contre, avec la reprise partielle des piliers entreprise dès fin 1903, deux paramètres vont profondément évoluer :

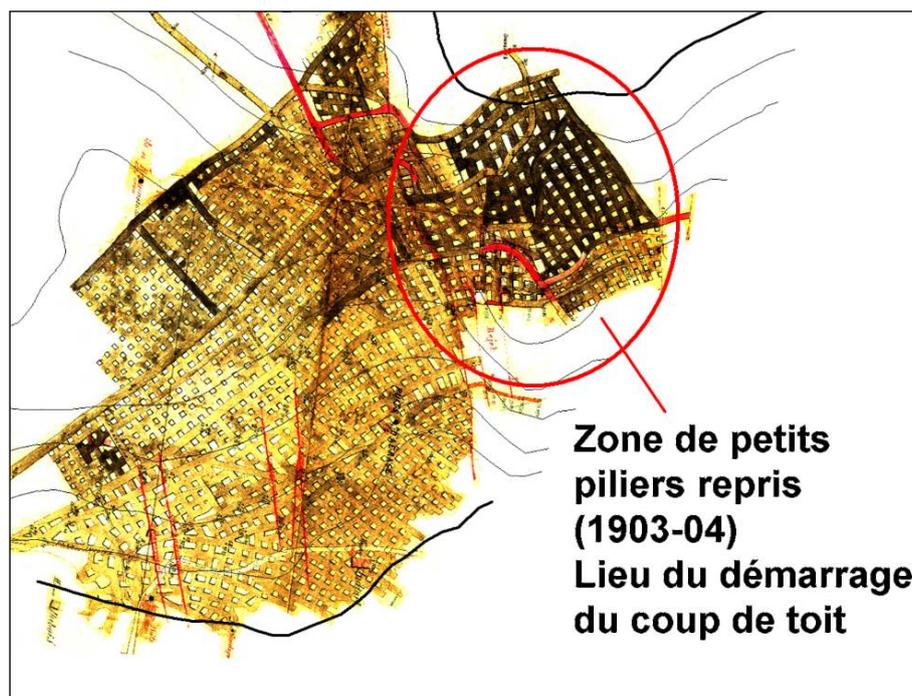
- le premier secteur à piliers repris est situé à 50 m de profondeur ;
- le taux de défrètement dépasse 90 %, les remblais ne remplacent pas le matériau en place.

Le nouveau calcul avec ces paramètres donne un coefficient de sécurité  $F_s$  de 0,6. Les observations faites au fond confirment cette estimation. La partie basse des piliers beaucoup plus résistante est restée en place. La couche de minerai riche s'est totalement écrasée.

En conclusion de cette analyse, nous pouvons considérer que ce problème de stabilité ne devrait pas se reproduire ailleurs dans la mine car ce banc supérieur très riche et peu résistant n'existe que dans le secteur de travaux à moins de 50 m de profondeur qui s'est effondré (d'après PV de 1904).



**Illustration 23 : Etendue approximative de la zone effondrée en 1904**



**Illustration 24 : Zone de départ du coup de toit de 1904**

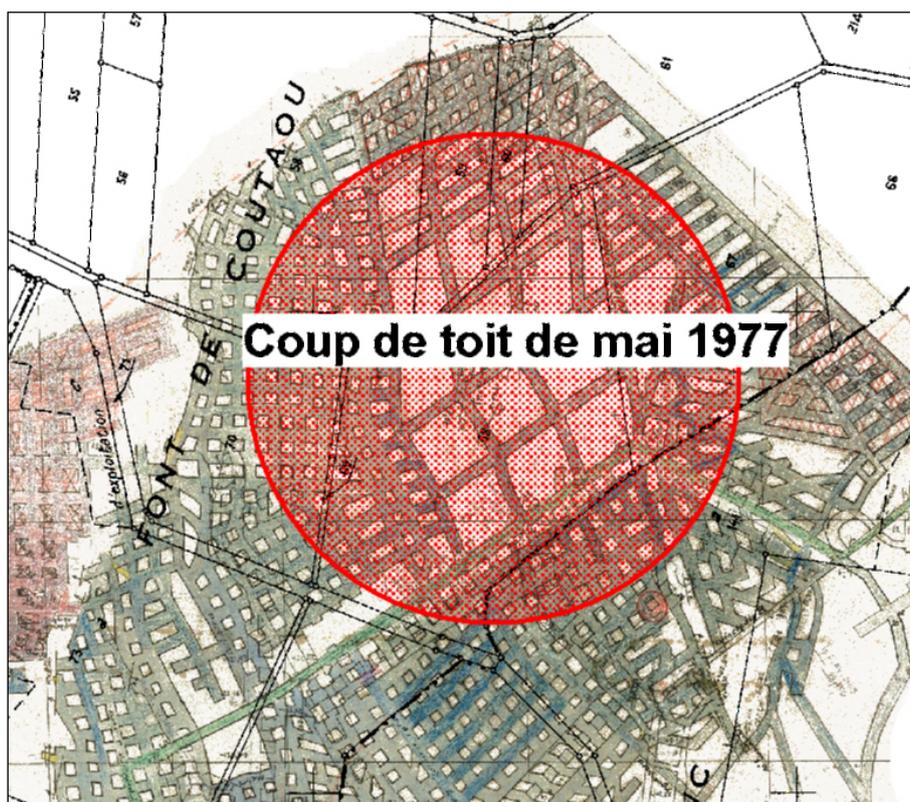
➤ Coup de toit de 1977

En mai 1977, un coup de toit s'est produit dans les quartiers en cours d'exploitation dans la partie nord de la mine de Rébésou située entre 220 et 250 m de profondeur (Illustration 25). Précisons dès maintenant que cet événement n'est présenté que pour mémoire car aucune explication n'a été trouvée quant à ses causes.

La méthode d'exploitation de l'époque consistait au creusement de galeries montantes parallèles séparées par un pilier de 5 m de large. A la fin du traçage, le pilier central est repris par des recoupes de 5 m laissant en place des piliers de 5 m par 5 m. Lors du coup de toit, les travaux en cours étaient situés dans la partie nord-ouest de la mine, au contact de l'investissement avec les travaux souterrains de la SMAC. La couche secondaire n'avait pas été exploitée dans ce secteur. Dans cette partie de la mine, la couche tertiaire était relativement riche, le bitume suintant sur les piliers.

Lors de la visite des travaux du fond faite en 2008, nous avons pu constater que dans ce secteur, les gros piliers de 25 m par 25 m ne sont pas réellement rompus. Par contre le toit est découpé et descendu dans les galeries ; les piliers de 5 m par 5 m situés autours sont écrasés. On pourrait envisager que le groupe de gros piliers ait joué un rôle de point dur entouré de petits piliers en rupture.

Aucune conclusion n'est tirée de cet événement.



**Illustration 25 : Etendue approximative de la zone effondrée en mai 1977**

### 3.7.4.2 Analyse des affaissements passés sur les travaux profonds

#### ➤ Concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols et de Rébésou

##### Généralités

Au droit des travaux des concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols et de Rébésou (SFA), l'affaissement maximal mesuré est de pratiquement 38 cm. La visualisation des lignes d'iso-affaissement révèle que :

- la cuvette d'affaissement mesure environ 600 m de large pour plus de 900 m de long. Elle est dans la continuité de celle initiée au nord sur la concession de la SMAC ;
- l'affaissement enregistré s'est principalement produit au droit des secteurs de chambres et piliers abandonnés et/ou partiellement remblayés ;
- la mise en pente moyenne est d'environ 0,1 cm/m au niveau des bords fermes (le long des failles Goldney et Barjac) et de 0,057 cm/m au contact des zones uniquement tracées (sud-est de la concession, stot du puits Goldney) ;
- les levés ne rendent pas compte d'affaissements importants (moins de 10 cm) spécifiques ayant pu se développer au droit des secteurs foudroyés.

Cet affaissement s'est principalement réalisé entre juillet 1977 et novembre 1991. Entre juillet et septembre 1977, la vitesse moyenne de l'affaissement était dans ces secteurs de l'ordre de plusieurs dizaines de centimètres par an. Les dernières campagnes de mesures en 2008 montrent qu'entre octobre 2001 et mars 2008, la vitesse d'affaissement moyenne s'est considérablement ralentie et est de quelques millimètres par an (maximum 6 mm/an).

On rappellera qu'à partir de la date du coup de toit de 1977, toute exploitation du secteur a été définitivement arrêtée.

##### Evolution de l'affaissement au droit des secteurs exploités par îlots isolés

On dispose de très peu d'informations sur l'évolution des affaissements au droit de ces secteurs. Seules 11 bornes ont été identifiées comme concernant ces secteurs. Aucune ne dispose de données de nivellement concernant la totalité de la période de 1977 à nos jours, si bien qu'il est impossible d'estimer l'évolution des affaissements au droit de ces secteurs sur l'ensemble de la période. En revanche, on constate que depuis 1991, l'affaissement n'excède pas quelques centimètres au total. Enfin, les données récentes portant sur la période 2001-2008 révèlent des valeurs d'affaissement non significatives.

##### Evolution de l'affaissement au droit des secteurs de galeries de traçage

Au droit des secteurs de traçage sur l'ensemble des points de suivi, l'affaissement moyen est de 8 cm, avec un maximum local de 28 cm. Les données acquises révèlent que les affaissements se sont produits principalement entre juillet 1977 et novembre 1991. Si le manque de donnée n'autorise pas une analyse précise entre 1991 et 2001, à partir de 2001, les campagnes récentes ont montré que les vitesses d'affaissement au droit de ces secteurs ne sont pas significatives. Ces mouvements de la surface ne sont pas liés aux travaux directement à leur aplomb mais aux chantiers voisins en chambres et piliers qui doivent converger au fond.

### Evolution des affaissements du sol de points de mesures situés en secteurs uniquement concernés par des traçages

Au droit de ces secteurs, l'affaissement moyen sur l'ensemble des points d'étude est de 3,5 cm avec une valeur maximale de 11 cm. Tout comme pour les autres secteurs, les affaissements se sont produits entre les années 1977 et 1990. Actuellement, les vitesses d'affaissement ne sont pas significatives. D'une façon générale, actuellement, les mesures de surface révèlent un affaissement peu évolutif. L'affaissement semble s'être principalement produit entre 1977 et 1991.

#### ➤ Concessions de Fontcouverte et Mas Taulelle

En ce qui concerne les travaux des concessions de Fontcouverte et Mas Taulelle, lors de la réalisation du rapport d'analyse des effets potentiels en surface des anciens travaux de SMAC [7], [8], les caractéristiques des affaissements étaient les suivantes :

- une cuvette s'était formée (entre 1967 et 1995) à l'aplomb des quartiers -73 et -95 (partiellement exploités). Le centre de la cuvette accusait un affaissement maximum cumulé sur cette période de 35 cm. Les travaux dans ce secteur ayant été réalisés antérieurement à cette période de mesure, on ne sait pas qu'elle part d'affaissement s'était déjà donnée avant le début de la surveillance ;
- durant cette même période (1967 à 1995) à la périphérie de la cuvette, en particulier vers le sud (zone de l'ancien carreau de la mine), les affaissements mesurés n'excédaient pas 2 cm. Il faut toutefois préciser que peu de points étaient positionnés à cette époque dans cette zone ;
- affaissement à l'aplomb du panneau X. L'historique des bornes de nivellement implantées à l'aplomb ou à proximité de ce panneau n'a pas été retrouvé lors des études antérieures. A l'exception d'une borne située à l'aplomb de l'extrémité nord du panneau, toutes les autres ont été perdues. Depuis 1965, la borne restante ne montre pas de déplacement significatif. Récemment (en 2004), une nouvelle borne a été implantée le long du chemin département 550 (dit des Triboulets). En l'absence de suivi continu englobant la période d'exploitation du panneau (1970-1990), on retiendra une information obtenue du propriétaire de la grande parcelle cultivée située à son aplomb. Il mentionne que les services de la mine de l'époque relevaient régulièrement l'altimétrie d'une borne située au milieu de son champ. Sans hésitation, il précise que cette borne s'était affaissée à l'époque de 1 m. Elle se situe à une vingtaine de mètres de la bordure ouest de la zone centrale du panneau, à mi-distance entre les panneaux X et Y. Cette borne étant située à l'extérieur de l'aplomb du panneau, l'affaissement au centre de ce dernier a dû être logiquement plus élevé, ce qui renforcerait l'hypothèse que l'essentiel des travaux souterrains se soit refermé, au moins dans la zone centrale du panneau.

### Evolutions récentes

Les points qui ont pu être suivis depuis 1995 et jusqu'en 2009 révèlent une diminution très importante de la vitesse d'affaissement au centre de la cuvette initiale. L'amplitude maximale, au centre de la cuvette, ne s'est accentuée que de quelques centimètres, au plus, sur les 15 dernières années.

La moyenne de tous les points suivis entre 1999 et 2008, révèlent un affaissement négligeable sur cette période.

A ce stade de l'observation, les mesures effectuées avant et après ennoyage révèlent une tendance assez nette : l'ennoyage n'a pas eu d'effet déstabilisant par rapport à la situation initiale.

➤ Evolutions spatiales des affaissements

Il existe en fait deux pôles d'affaissement :

- un premier centré sur le panneau exploité par la SMAC, au nord du stot de limite de concession ;
- un second situé au sud de ce stot, dans les petits piliers de SFA.

Les deux cuvettes d'affaissement ont une influence l'une sur l'autre et contribuent ensemble à l'affaissement dans le secteur du stot. Ces affaissements sont suivis par nivellement depuis les années 1970 pour la SMAC et 1977 pour la SFA. La dernière campagne de mesures a été réalisée en 2009 alors que l'ennoyage de la mine était achevé. Lors de la précédente campagne (en 2008), le niveau d'eau dans la mine était encore maintenu par pompage à la cote -85 m NGF (210-220 m de profondeur environ).

### 3.7.4.3 Désordres observés en surface

Exception faite des éléments synthétisés ci-avant, relatifs aux mouvements de terrains de type affaissements, peu d'autres désordres ont été recensés. Les seuls désordres observés (à l'occasion des études DADT [4], [5], [6]) sont soit des dépressions dans les secteurs d'anciens puits soit dans le secteur de travaux à très faible profondeur de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols (Illustration 26).

Nom	Type de désordre	Position	Longueur	Largeur	Profondeur	Remarque
D7	Effondrement localisé	dGPS	inconnue	inconnue	inconnue	Dépression marquée pouvant correspondre à un fontis dans les travaux ou à la position du puits de reconnaissance, ce dernier serait mal positionné sur les plans de mine.
D6	Effondrement localisé	dGPS	5	5	0,5 m	Dépression remplie de ronces à quelques mètres de l'emplacement supposé du puits d'aérage.
D1	Effondrement localisé	dGPS	5	5	0,75 m	Probablement fontis dans travaux à faible profondeur (pas d'ODJ recensé dans ce secteur).
D2	Effondrement localisé	dGPS	3	3	1,3 m	-
D3	Effondrement localisé	dGPS	4	4	0,5 m	-
D4	Effondrement localisé	dGPS	3	3	0,5 m	-
D8	Coup de toit	Archives	400	150	Travaux à moins de 50 m de profondeur	Coup de toit de 1904
D9	Coup de toit	Archives	300	300	Travaux entre 220 et 250 m de profondeur	Coup de toit de 1977
D10	Affaissement progressif	Archives	900	600	0,38 m	Affaissement entre 1977 et 1991, au droit des secteurs en chambres et piliers abandonnés ou partiellement remblayés
D11	Affaissement progressif	Archives	-	-	0,35 m	Affaissement entre 1967 et 1995, au droit des quartiers -73 et -95 partiellement exploités

**Illustration 26 : Caractéristiques des désordres miniers**

### 3.7.4.4 Suivi des mouvements de terrain en surface au cours du pompage d'essai de l'aquifère minier de l'ancien site d'extraction

Ce paragraphe est extrait du rapport INERIS DRS-14-135845-08693A du 19/12/2014 [21].

#### ➤ Généralités et contexte

Les mines souterraines de calcaires asphaltiques de la SFA et de la SMAC, ont été arrêtées et se sont ennoyées, formant deux aquifères miniers plus ou moins interconnectés. L'Association Syndicale Autorisée (ASA) d'irrigation de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan souhaite installer une station de pompage permanent dans l'aquifère minier de la SMAC par le biais des anciens forages d'exhaure. Préalablement à cela, un pompage d'essai a été réalisé. Le débit de pompage maximal attendu étant de 300 m<sup>3</sup>/h, il était susceptible de générer un rabattement maximal de la nappe de l'ordre de 80 m.

Dans le cadre de cette essai de pompage, un protocole de suivi des mouvements de terrain a été établi par l'INERIS par la mise en place d'un réseau d'une trentaine de points à surveiller en altitude par mesure de nivellement puis deux base GPS permettant un suivi en temps réel (Illustration 27).

Les mesures de suivi se sont étalées sur plus de huit mois pendant les différentes phases de pompages visant à réaliser un rabattement de la nappe par paliers puis à provoquer des remontées de la nappe.

A l'issue du pompage d'essai, la valorisation de l'aquifère minier a été abandonnée.

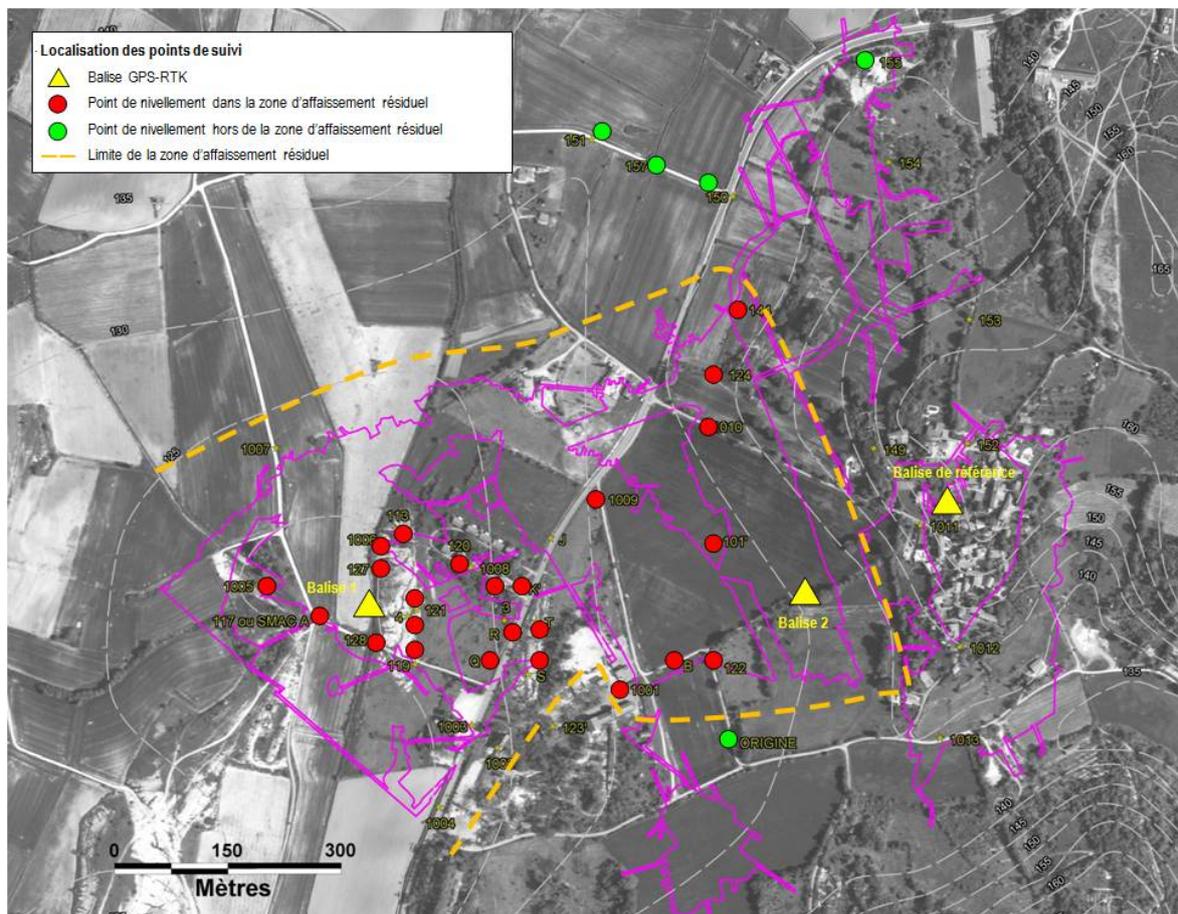


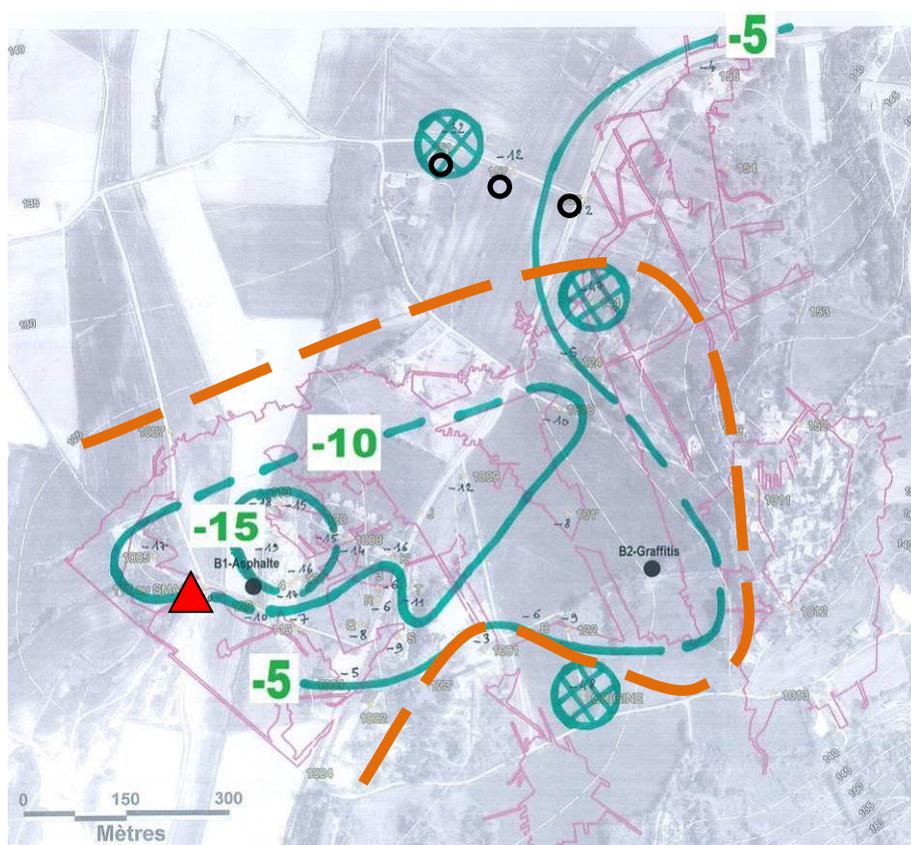
Illustration 27 : Localisation des points de suivi de l'altimétrie du site

➤ Comportement global des terrains en surface

Rapportées en plan, les valeurs de suivi des cotes NGF de la surface du sol mesurées lors du nivellement du 25 août 2014 sont présentées sur l'illustration 28. Cette carte, qui ne tient pas compte des points « anormaux » (points origine, 144, 151), révèle une certaine structuration des valeurs avec :

- une zone d'abaissement maximal ( $> 10$  mm) située à proximité du pompage et étirée dans le sens de développement des travaux miniers (vers le nord-est) ;
- une zone d'abaissement minimal ( $< 5$  mm) qui épouse le relief d'Avejan et les limites sud et est de la zone d'affaissement résiduel.

Concernant les points anormaux, leur valeur est anormalement supérieure à celle du « bruit de fond » qui les entoure et ils ne s'intègrent pas dans le schéma susmentionné. On notera que la balise B2-Graffitis, qui montre un affaissement maximal de 52 mm, entre dans ce réseau de points anormaux.



**Illustration 28 : Iso-valeurs (en mm) d'abaissement maximum de la surface du sol au 25 août 2014 (mesures de nivellement + balises)**

(le triangle rouge est le lieu de pompage, la ligne en tirets oranges délimite la zone d'affaissement résiduel, les cercles hachurés représentent les points anormaux, les petits cercles noirs sont les points 150, 151 et 157)

➤ Synthèse des données obtenues

L'aquifère minier des calcaires asphaltiques du Ludien du secteur de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan a été testé pendant 3,4 mois au débit moyen de 137 m<sup>3</sup>/h. Le pompage a duré du 15 mai au 26 août 2014.

Un premier palier de pompage a eu lieu pendant 15 jours au débit moyen de 105 m<sup>3</sup>/h, suivi d'un second palier de 63 jours au débit moyen de 162 m<sup>3</sup>/h, puis d'un palier de remontée de 24 jours au débit de 76 m<sup>3</sup>/h. Le rabattement maximal induit a été de 56,3 m au forage F2 (en pompage) et de 52,9 m au forage F1 (distant de 18 m), mesuré à la fin du second palier de pompage.

La remontée a été suivie pendant 69 jours. Elle a été fortement influencée par deux violents épisodes cévenols qui ont totalisé 190 mm de pluie. A leur suite, le rabattement résiduel s'est annulé le 10 octobre et le niveau statique final a été supérieur de 2 à 5 m au niveau statique initial.

Sur le plan altimétrique, deux types de suivis ont été mis en place :

- une campagne de nivellement hebdomadaire à bimensuelle portant sur 31 points (26 à l'intérieur de la cuvette d'affaissement résiduel et 5 à l'extérieur) ; la campagne a débuté par un « état zéro » réalisé le 28 avril 2014 ;
- deux balises GPS-RTK implantées au droit de la zone de remontée maximale des terrains après ennoyage de la mine. La première de ces zones correspond à des panneaux miniers profonds et proches des forages en pompage alors que la seconde correspond à des panneaux peu profonds et éloignés des mêmes forages. En outre, c'est au droit des quartiers X et Y (non loin de la balise B2-Graffitis) que se trouve la borne de nivellement 101' qui aurait montré la plus grande amplitude de mouvement de terrain pendant l'exploitation de la mine.

Ces suivis montrent des fluctuations de la surface du sol en relation avec les phases de pompage et d'arrêt, ainsi qu'avec les épisodes de fortes précipitations. Au final, on observe que le niveau moyen du sol est quasiment revenu à son état initial à la fin du suivi, et ce 2,5 mois après l'arrêt du pompage.

La grande majorité des points mesurés (88%) montre le comportement suivant :

- une petite zone d'abaissement fort, atteignant 15 à 20 mm, située entre 150 et 300 m au nord-ouest du pompage ;
- une vaste zone d'abaissement moyen, compris entre 10 et 15 mm, située dans l'axe des travaux miniers (NE-SW), depuis les forages en pompage jusqu'au quartier X, à environ 700 m de ces derniers ;
- une vaste zone d'abaissement faible, compris entre 5 et 10 mm, correspondant grossièrement au reste de la cuvette d'affaissement résiduel.

Au sein de ce schéma, s'individualisent toutefois 4 points anomaliques dont l'abaissement maximal varie de 32 à 56 mm et qui se localisent aux endroits suivants :

- entre 700 et 800 m de distance des forages en pompage ;
- essentiellement au droit des quartiers X et Y ou à leur proximité immédiate ou dans leur prolongement. Ces quartiers sont les plus sensibles à l'affaissement car ils sont les plus récents, avec la plus grande ouverture ainsi que, localement, le plus grand ratio L/H et le plus grand taux de défruitement ;

- dans une zone où, en cas de propagation homogène d'un rabattement de l'ordre de 50 m au sein des vides miniers, l'allègement relatif de charge hydraulique serait deux fois plus fort qu'au droit des quartiers profonds ;
- dans un « panneau tectonique » au comportement particulier, formant un petit graben qui recoupe et perturbe fortement les deux failles bordières du fossé d'Alès (failles de Barjac et de Vian).

➤ Préconisations retenues en cas de poursuite des pompages

Le rabattement induit par le pompage d'essai a engendré un abaissement global de 5 à 20 mm des terrains de surface, avec toutefois des valeurs anormalement fortes, atteignant 30 à 60 mm en quelques points éloignés du site de pompage. Toutefois, le niveau du sol est revenu à son état initial quelques mois après la fin du pompage, ce qui montre que cet abaissement est, pour l'instant, réversible.

L'existence de telles amplitudes d'abaissement de la surface du sol nécessite la régulation du rabattement induit et, par la même, du débit de pompage imposé.

Ainsi, dans l'état actuel des connaissances, on propose de limiter le débit de pompage de telle manière que le rabattement correspondant n'induisse pas d'abaissement trop fort de la surface du sol et ce, en aucun point de mesure.

L'estimation de cette valeur maximale admissible d'abaissement peut être basée sur deux raisonnements :

- en prenant référence sur la valeur moyenne utilisée pour définir le seuil d'alerte lors du protocole de surveillance du pompage d'essai, soit 20 mm (correspondant au soulèvement moyen du sol au sein de la zone d'affaissement résiduel après l'envoyage des travaux miniers de la SMAC) ;
- en considérant la valeur maximale d'abaissement de la surface du sol obtenue (hors points anomaliques) au cours du pompage d'essai, soit 19 mm au point 127.

Les deux raisonnements convergent vers la même valeur. Dans l'état actuel des connaissances, on propose donc de considérer un abaissement moyen de la surface du sol de **20 mm** comme étant un maximum admissible en réponse à la mise en pompage en continu de l'aquifère minier. Sur la base de cette valeur, un rabattement maximal de l'ordre de **45 m au forage F1** est recommandé, ce qui correspond à environ **48 m au forage F2** (Illustration 30).

### 3.7.4.5 Travaux de mise en sécurité

Les différents arrêtés préfectoraux encadrant les dossiers d'arrêtés préconisaient un certain nombre de travaux de mise en sécurité.

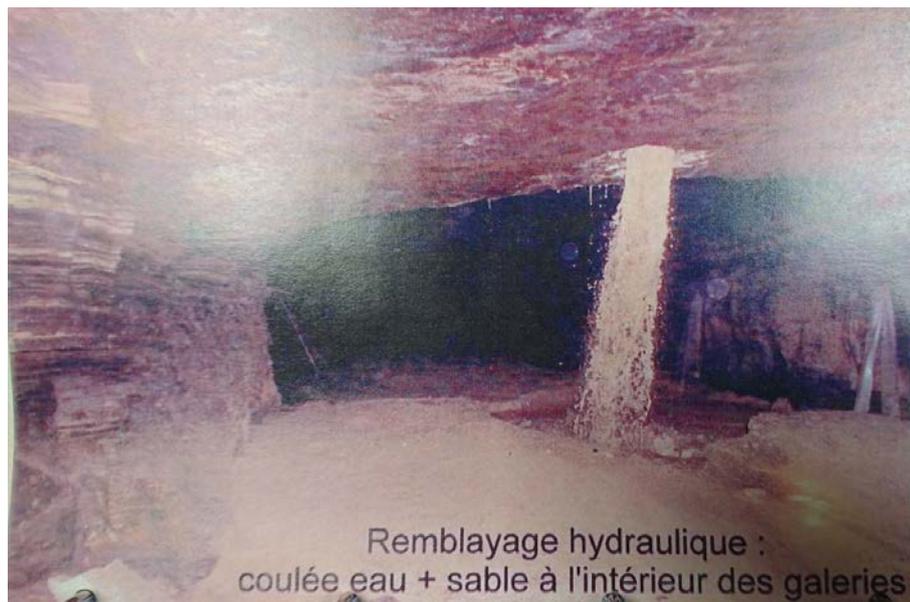
Les exploitants ont ainsi réalisé le comblement de tous les ouvrages connus en respectant les recommandations définies dans les études techniques des dossiers. Les ouvrages ont ainsi été intégralement remblayés puis fermés par des bouchons en béton. Les galeries ouvertes ont été soit remblayées, soit bouchonnées, soit foudroyées. Seul le puits Bond a été laissé ouvert car utilisé comme source d'alimentation en eau d'une centrale à béton. Cet ouvrage a néanmoins été déconnecté des travaux miniers par remblayage des 15 m à la base de la colonne puis réalisation d'une nouvelle dalle en surface débordant de plus de 2 m du diamètre du puits.

Tous ces travaux ont été suivis, contrôlés et des dossiers de recollement ont été établis.

La nature des travaux réalisés est détaillée dans la colonne commentaire de l'illustration 22.

Les vieux travaux à faible profondeur (moins de 20 m) situés au sommet du panneau d'Avéjan ont été remblayés en 2000 par remblayage hydraulique (photo 21). Ces travaux ont été suivis et validés par un dossier de recollement.

Rappelons que les deux événements connus ont été récemment bouchés. Les pompes minières de la SMAC ont été démantelées.



*Photo 21 : Remblayage hydraulique des galeries d'Avéjan (photo DADT SMAC)*

### **3.7.4.6 Eléments environnementaux**

Les aspects environnementaux sont largement abordés et traités dans les études des DADT. Les informations détaillées ne seront pas reprises en détails ici, seules les principales conclusions sont rapportées.

#### ➤ Eaux souterraines

L'impact potentiel sur les eaux souterraines correspond au risque de propagation, au sein des aquifères superficiels, de l'eau fortement minéralisée qui a provoqué l'engorgement des travaux miniers de SFA, puis de ceux de la SMAC.

Précisons que le niveau d'eau de l'aquifère minier s'est stabilisé à une cote de l'ordre de 100 m NGF, comme les études initiales hydrogéologiques l'avait défini (Orengo, 1995 et 1996 pour SMAC et SFA). En conséquence, il n'y aura pas d'exutoire des eaux minières en surface dans le périmètre des exploitations minières de Saint-Jean-de-Maruéjols (celles de la SMAC et de la SFA).

Plus loin, deux zones peuvent éventuellement être le siège à terme de résurgences minières, en aval hydraulique des circulations souterraines :

- le ruisseau de Malaygue (affluent de la Cèze à l'est du village d'Avéjan) dans sa partie amont (Mas d'Uzac) et/ou dans sa partie aval (Galinier) a été considéré comme l'exutoire potentiel des travaux miniers du plan incliné d'Avéjan. Dans ce cas, les eaux circuleraient via les calcaires urgoniens ;
- la zone possible d'exutoire des eaux minières de l'ensemble SMAC (travaux du puits Incliné) et SFA se situerait quant à elle vers la confluence Claysse-Cèze, 3 km environ vers le sud, les circulations souterraines s'établissant dans les calcaires ludiens.

D'après l'INERIS, les temps de transfert jusqu'à ces exutoires seront très lents, plusieurs centaines d'années s'ils ne rencontrent pas de faille ni de réseau karstique.

#### ➤ Usages de l'eau

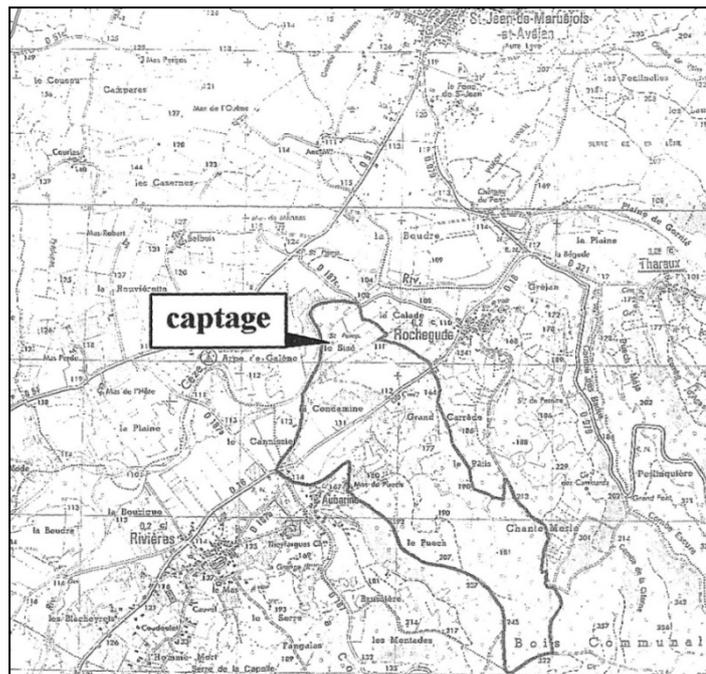
Il existe plusieurs puits ou forages captant l'aquifère des calcaires ludiens en aval des travaux miniers dont le plus important d'entre eux est le forage de Sisé utilisé comme captage d'eau souterraine pour l'alimentation en eau potable. Il est situé en rive droite de la Cèze, sur la commune de Rochegude, à environ 3 km au sud des travaux miniers de SFA/SMAC.

Ce captage est protégé par des périmètres de protection qui ne concernent que le territoire de la commune de Rochegude. Le périmètre de protection éloignée, le plus vaste, est implanté sur les calcaires urgoniens de la rive droite de la Cèze (Illustration 29).

Ces périmètres de protection n'intéressent donc pas la zone d'arrivée potentielle du panache d'eaux de mine située en rive gauche de la Cèze dans les calcaires ludiens et/ou dans les alluvions de la Cèze.

Il est cependant possible d'estimer les perturbations qui résulteraient de l'arrivée éventuelle d'un tel panache jusqu'à ce forage AEP en référence à l'analyse d'eau figurant dans l'arrêté préfectoral de première mise en eau datant du 01/11/2007.

L'arrivée éventuelle du panache se traduirait par une augmentation des sulfates et sodium. L'INERIS a recommandé donc de porter une attention particulière à la concentration de l'eau en ions sulfates et sodium dans les analyses réglementaires régulièrement effectuées sur ce captage.



**Illustration 29 : Périmètre de protection éloignée du captage AEP de Rochegude**

➤ Impact sur les eaux de surface

La Claysse, dans la zone d'étude, n'est pas un milieu récepteur soumis à des usages significatifs du fait de son faible débit estival, qui peut aller jusqu'au tarissement, et de l'altération de la qualité de l'eau liée au rejet de la station d'épuration des eaux usées de Saint-Jean-de-Maruéjols-et-Avéjan.

En revanche, la Cèze en aval de sa confluence avec la Claysse est un lieu de pêche et de baignade. En outre, l'ensemble du cours de la Cèze est classé en zone NATURA 2000 (fiche n° FR 9101399).

L'impact d'un éventuel déversement d'eau de mine dans ces deux cours d'eau, par le biais d'un débordement au droit des alluvions, dépend du débit et de la qualité de l'eau déversée et du milieu récepteur considéré.

L'impact potentiel sur les eaux superficielles a été calculé par l'INERIS en tenant compte de trois paramètres :

- le taux de dilution qui correspond au rapport du débit de déversement maximum attendu au débit normalisé du cours d'eau ; ce taux de dilution est de l'ordre de  $10^{-5}$  pour la Claysse et de  $10^{-6}$  pour la Cèze ;
- la qualité initiale du cours d'eau qui résulte de l'état zéro réalisé à la mi-2008 ;
- la qualité de l'eau de mine qui correspond à la valeur la plus pénalisante de chaque paramètre mesurée sur les deux eaux échantillonnées (puits Berry et Goldney) au début de l'année 2008.

Avec ces hypothèses, l'INERIS a montré qu'aucun impact ne serait mesurable sur ces cours d'eau.

➤ Mesures déjà prises et celles envisagées pour faire cesser ou réduire les nuisances et les risques relatifs aux eaux de toute nature

Il n'y aura pas de débordement direct d'eau de mine dans le réseau superficiel mais un débordement indirect, plus en aval, dans les alluvions en relation avec un cours d'eau (Claysse et/ou Cèze) ne peut pas être écarté à long terme.

Cependant, les calculs effectués montrent que l'impact quantitatif et qualitatif serait alors négligeable. Par ailleurs, la Claysse n'est pas un milieu récepteur soumis à des usages significatifs dans la zone d'étude et la Cèze, bien qu'étant un lieu de pêche et de baignade, est située à plusieurs kilomètres en aval et possède, même en étiage quinquennal sec, un débit significatif permettant une bonne dilution.

L'impact principal potentiel concernerait l'aquifère des calcaires ludiens, au sein desquels ont été creusés les travaux miniers SMAC et SFA, et plus particulièrement les puits et forages situés en aval hydrogéologique des concessions minières. Le plus sensible de ces ouvrages est le captage AEP de Sisé, implanté à Rochegude en rive droite de la Cèze.

En cas d'augmentation anormale des ions sulfates et/ou sodium, une analyse de la totalité des ions majeurs devra être effectuée afin de comparer le nouveau faciès hydrochimique de l'eau au faciès de référence et, si nécessaire, de prévenir l'exploitant du captage AEP de Sisé.

Dans ce cas, l'exploitant du captage pourra envisager de prendre des solutions de remédiation comme la fermeture du captage ou son déplacement, la dilution de l'eau pompée par une autre ressource en eau, la mise en place d'une station de traitement des ions incriminés, etc.

Une surveillance des eaux a été réalisée par la SMAC et la SFA jusqu'en 2015.

Par ailleurs, aucun aléa inondation lié à l'ancienne exploitation minière ou encore aucun impact qualitatif ou quantitatif sur les eaux de toute nature liés aux mouvements de terrain n'a été identifié.

### **3.7.5 Installations de pompage**

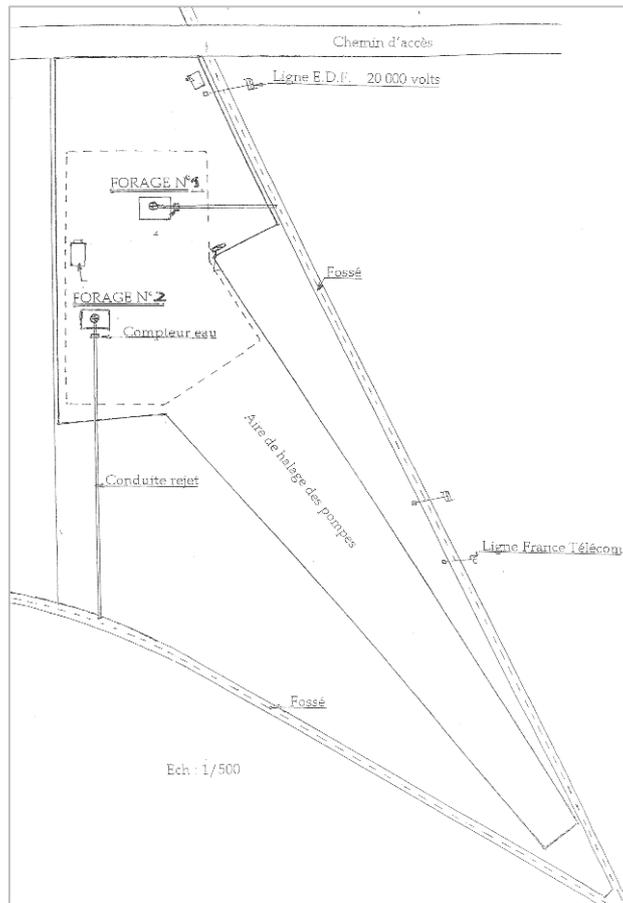
Le pompage mis en place pour assurer un niveau d'eau dit de sécurité dans la mine SMAC (travaux associés au puits incliné) était constitué de (Illustration 30 et photo 22) :

- un local électrique en dur sur dalle béton ;
- deux forages distants de 17 m atteignant les travaux souterrains aux cotes de 115 et 108 m NGF (profondeur de 240 m et 233 m). Les forages sont équipés chacun d'une pompe profonde immergée à plus de 210 m de profondeur. Ils sont tubés sur toute leur hauteur et équipés d'une crépine sur une douzaine de mètres à la hauteur des travaux souterrains ;
- deux conduites permettant de rejeter les eaux d'exhaure dans deux fossés aménagés (rejoignant ensuite le ruisseau de Rébésou) ;
- une aire de halage des pompes.

La parcelle sur laquelle est installée cette station de pompage présente une superficie de 0,34 ha.

Les pompes ont été démantelées en 2014 et de nouvelles ont ensuite été installées dans les forages pour la réalisation des essais de pompages agricoles. A l'issue de ces essais, la valorisation de l'aquifère minier a été abandonnée.

Ces ouvrages de petit diamètre sont toujours ouverts. Leur obstruction définitive n'est pas prévue pour le moment compte tenu de leur éventuelle réutilisation.



**Illustration 30 : Plan du site de la station de pompage**



**Photo 22 : Station de pompage avant 2014**

### 3.7.6 Events des puits Alexandre et Incliné

Lors des travaux de mise en sécurité (suite aux préconisations du DADT) et en raison de l'envoyage des travaux souterrains, deux événements de contrôle avaient été installés sur les points hauts des mines souterraines : travaux du puits Alexandre et travaux du puits Incliné.

L'événement du puits Incliné était constitué d'un tube, depuis la surface jusque dans le remblai du puits, et d'une colonne aérienne avec une vanne d'arrêt et un capot coupe-flamme (photo 23).

Concernant l'événement du puits Alexandre, il était constitué par un tube libre passant à travers le bouchon béton du puits (photo 24).

Ces ouvrages ont été rebouchés et toutes les infrastructures en surface ont été démantelées (constat 2014, [21]).



*Photo 23 : Event du puits Incliné avant 2014*



*Photo 24 : Event du puits Alexandre avant 2014*

## **3.8 Cartographie informative**

### **3.8.1 Géoréférencement des travaux miniers**

Les travaux miniers ont été intégrés à partir des données géoréférencées sous la forme d'un SIG (standard MapInfo 9.0).

Les éléments reportés sur les cartes informatives sont disponibles sous la forme d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) sous Mapinfo 9.0 dans le système de coordonnées Lambert 93, composé des couches cartographiques suivantes :

- la BD Ortho de l'IGN ;
- la BD Parcellaire de l'IGN ;
- la BD Alti de l'IGN au pas de 25 m ;
- les limites des communes ;
- les limites des concessions ;
- les ouvrages débouchant au jour (puits, descenderies ou cheminées) ;
- les éventuels désordres en surface, connus ;
- les terrils et verses retrouvés sur le terrain ;
- les emprises des travaux ;
- les points de nivellement de la concession de Rébésou (données SFA) ;
- les courbes d'iso-Affaissement calculées par l'INERIS ;
- les courbes de profondeur du gisement exploité.

L'ensemble de ces données est reporté sur une carte informative à l'échelle 1/2000<sup>e</sup>, en annexe B.

### **3.8.2 Incertitudes de localisation**

#### **3.8.2.1 Incertitude sur la position des ouvrages**

Les incertitudes de positionnement des ouvrages débouchant au jour sont variables. Elles sont comprises entre 1 m pour les ouvrages visibles et localisés au dGPS et peuvent atteindre jusqu'à 10 m pour ceux repositionnés à partir des plans miniers géoréférencés.

#### **3.8.2.2 Incertitudes sur la localisation des travaux miniers**

L'incertitude finale sur la localisation des travaux miniers peut être décomposée de la sorte :

- incertitude intrinsèque aux plans d'origine réalisés ici au 1/1 000<sup>ème</sup> ;
- incertitude sur le géoréférencement du plan dans le SIG ;
- incertitude liée au choix du fond cartographique.

L'incertitude intrinsèque au plan (c'est-à-dire l'incertitude liée au contour ou à la représentation des zones de travaux qui le composent) est fonction le plus souvent de la répartition des ouvrages sur les travaux. De manière générale, un plan comprenant un ouvrage unique ou un ensemble d'ouvrages alignés aura une incertitude plus grande qu'un plan avec des ouvrages répartis uniformément. D'autres paramètres plus subjectifs comme la date de l'établissement ou la qualité du dessin peuvent également entrer en jeu dans l'appréciation de l'incertitude.

Dans notre cas, la répartition des ouvrages et la qualité graphique des plans miniers nous permettent d'estimer cette incertitude intrinsèque inférieure au mètre.

L'incertitude de géoréférencement est liée au choix des points de calage utilisés mais également à l'expertise de l'opérateur réalisant cette tâche. Dans le cadre de cette étude, l'incertitude de géoréférencement des plans utilisés ont été précisés par secteurs (Illustration 31).

L'incertitude cartographique de la BD Ortho de l'IGN retenue est généralement de 3 m.

<b>Concession</b>	<b>Précisions secteur</b>	<b>Source</b>	<b>Incertitude de géoréférencement</b>
Concession de Rébésou	Travaux profonds	Plan papier	10 m
Concession de Saint-Jean-de-Maruéjols	Secteurs proches du Petit Puits, et des puits Bond et Vian, dont la position est connue au mètre près	Plan papier	2 m
	Autres secteurs – Limite ouest concession	Plan papier	3 m est-ouest 5 m nord-sud
	Autres secteurs – Limite est concession	Plan papier	5 m est-ouest 8 m nord-sud
	Partie des travaux aux affleurements	Plan papier	5 m
	Quartier Vian, travaux les plus éloignés vers l'est du puits	Plan papier	10 m
Concessions de Mas-Taulelle et de Fontcouverte	Tous secteurs	format Autocad	5 m

**Illustration 31 : Incertitude de géoréférencement des plans utilisés**



## **4 PHASE D'EVALUATION DES ALEAS**

Les informations synthétisées dans la première partie de ce rapport permettent d'identifier les différents aléas miniers qui sont retenus comme pertinents pour la deuxième phase de l'étude (analyse détaillée des aléas) et ceux qui peuvent être raisonnablement écartés. Les aléas retenus seront par la suite évalués selon les principes en vigueur [1], [2], [3].

L'évaluation des aléas a été menée sur la base du guide méthodologique et de la note GEODERIS [1] et [2].

### **4.1 Identification des aléas retenus**

#### **4.1.1 Aléa affaissement progressif**

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).

Un affaissement minier peut subvenir en cas d'exploitation totale, suite au foudroyage des terrains ou au contraire de manière accidentelle en cas de rupture d'ouvrages souterrains au sein d'exploitation partielle (piliers dans le cas d'exploitation par de chambres et piliers abandonnés notamment).

Ce type de manifestation concerne aussi bien les exploitations en plateaux menées à grande profondeur (plusieurs centaines de mètres) et présentant des extensions horizontales importantes, que les exploitations pentées (ou éventuellement filoniennes) profondes ayant laissé des vides résiduels importants après extraction.

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

Comme nous l'avons détaillé précédemment dans la phase informative, l'occurrence d'un tel phénomène est possible au droit des travaux souterrains étudiés et notamment :

- les travaux de la concession de Rébésou. L'affaissement des terrains de surface était toujours en cours en 2009. L'analyse plus détaillée qui est menée dans la suite du document vise à établir l'amplitude résiduelle, la vitesse et la durée restante ;
- les travaux profonds en chambres et piliers des concessions de Mas-Taulelle et Fontcouverte ;
- certaines parties exploitées en chambres et piliers situées à moyenne profondeur dans la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols.

### Remarques :

- Pour certains secteurs, la géométrie des travaux souterrains n'est pas propice au développement d'un tel phénomène du fait de la présence de nombreuses failles, piliers barrières, dimensions largement sous-critiques, mais aussi contraintes faibles dans les piliers.
- L'occurrence d'un affaissement doit être analysée dans les zones de chambres et piliers à plus faible profondeur car en cas de ruine d'un groupe de piliers, de petits affaissements aussi bien en termes d'étendue que d'amplitude sont possibles.

#### **4.1.2 Aléa effondrement localisé**

Un effondrement localisé se caractérise par l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont l'extension horizontale varie généralement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de diamètre. La profondeur du cratère dépend principalement de la profondeur et des dimensions des travaux souterrains mais il n'est pas rare qu'elle atteigne une dizaine de mètres même si, dans la majorité des cas, elle se limite à quelques mètres.

Trois mécanismes peuvent être à l'origine d'un effondrement localisé :

- le débouillage de puits ou la rupture de la tête d'un puits ;
- la rupture d'une cavité souterraine :
  - effondrement d'un toit d'une galerie ou d'une chambre d'exploitation ;
  - rupture localisée d'un pilier au sein d'une exploitation par chambres et piliers.

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

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

##### ➤ Effondrement par débouillage de puits ou rupture de la tête de puits

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

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

Néanmoins, si la tête d'un puits non remblayé est foncée dans des terrains de moindre résistance ou meubles (remblais, sols, roche altérée, etc.), la rupture du cuvelage ou du dispositif de fermeture sous-dimensionné peut entraîner la migration de ces matériaux dans la colonne de puits. La manifestation en surface peut ainsi se restreindre à un cratère de petite taille (quelques mètres de diamètre au maximum) ou générer des désordres plus importants (diamètre pouvant dépasser une dizaine de mètres).

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

➤ Effondrement localisé par rupture de cavités souterraines (toit ou piliers isolés)

On parle de « fontis » lorsque le désordre de forme conique qui affecte la surface, résulte de la remontée au jour d'un éboulement localisé, initié au sein d'une excavation souterraine (galerie, chambre d'exploitation, etc.). En effet dans certains cas (portée de voûte importante et/ou rupture localisée d'un pilier), les premiers bancs de toit peuvent se rompre et une montée de voûte peut s'initier. Si la voûte ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs résistants et massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface et peut y déboucher. Il faut également que l'espace disponible au sein des vieux travaux soit suffisant pour que les matériaux éboulés et foisonnés puissent s'y accumuler sans être bloqués par autocomblement, processus qui empêcherait la cloche de fontis d'atteindre la surface.

L'apparition de ce type de désordre en surface ne concerne que les travaux peu profonds. Les retours d'expérience menés sur plusieurs bassins miniers ont ainsi révélé que, sauf spécificité géologique ou d'exploitation, au-delà d'une cinquantaine de mètres de profondeur (et souvent moins), les anciens vides miniers (dans des gammes d'ouvertures classiques : 2 à 4 ou 5 m) n'étaient plus susceptibles de provoquer ce phénomène en surface.

Ce phénomène est susceptible d'être retrouvé sur tous les secteurs exploités à faible profondeur étudiés ici, le phénomène doit donc être analysé plus finement. Une évaluation plus précise de la hauteur possible de remontée de fontis sera notamment réalisée dans la suite du rapport afin d'identifier les secteurs soumis à ce type d'aléa.

Remarque : Les mines du Rébésou et Mas-Taulelle sont exploitées uniquement à grande profondeur, aucun phénomène de ce type n'y est donc envisagé.

### **4.1.3 Aléa tassement**

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

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

L'aléa tassement dans le cas des concessions de cette étude concerne principalement les anciens dépôts miniers de faible hauteur mais aussi les secteurs dit d'exploitation totale comme ceux réalisés en tailles chassantes remblayées du quartier d'Avéjan.

## 4.2 Evaluation de l'aléa effondrement localisé

Un effondrement localisé correspond à une rupture des terrains qui ne concerne qu'une zone d'extension limitée à quelques mètres en surface. Généralement, il est classique de distinguer, selon les mécanismes initiateurs :

- 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'exploitation peu profondes (par rupture de pilier(s) isolé(s), du toit des chambres exploitées ou du pilier couronne) ;
- l'effondrement localisé consécutif au débouillage d'un puits ou à la rupture de sa tête ;

Ces trois configurations existent sur les sites miniers étudiés ici, elles seront donc analysées par la suite.

### 4.2.1 Effondrement localisé lié aux zones de travaux à faible profondeur

#### 4.2.1.1 Evaluation de la prédisposition

Pour évaluer la prédisposition d'apparition du phénomène d'effondrement localisé, il convient de prendre en compte les facteurs suivants :

- la présence de vides à faible profondeur ;
- les caractéristiques des travaux (pendages, dimensions...) ;
- la nature de l'encaissant et du recouvrement ;
- les phénomènes déjà observés en surface.

Si la voûte initiée par la rupture du toit de l'excavation ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs résistants et massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface. Il faut également que l'espace disponible au sein des vieux travaux soit suffisant pour que les matériaux éboulés et foisonnés puissent s'y accumuler sans être bloqués par « autocomblement », processus qui empêcherait la cloche de fontis d'atteindre la surface. Pour les zones les moins profondes, la possibilité d'apparition en surface d'un effondrement localisé ou fontis n'est pas à exclure.

En première approche, nous avons exclu de l'analyse toutes les zones de travaux situées à plus de 50 m de profondeur. Ainsi, seuls les secteurs d'Avéjan (sur la concession de Fontcouverte) et les travaux au sud de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols sont conservés pour l'évaluation de la prédisposition aux effondrements localisés car ils sont situés à faible profondeur (certainement à moins de 50 m de profondeur).

L'analyse détaillée des PV de visite et des mémoires d'exploitation de 1869 à 1932 a permis de bien comprendre les méthodes et les schémas d'exploitation des quartiers exploités en chambres et piliers à moins de 50 m de profondeur. Deux informations principales sont à retenir :

- l'ouverture des chantiers est de 2,2 m dans les parties où la couche supérieure est riche en bitume, c'est-à-dire la partie effondrée en 1904. Cette ouverture n'est plus que de 1,6 m vers le Petit Puits et l'aval du puits Bond car cette couche supérieure riche n'existe plus. Seule la couche inférieure est exploitée ;
- il est régulièrement rappelé que les bancs stériles (qui représentent environ 1/3 de la coupe) sont utilisés, au fond pour remblayer partiellement les vides, à un taux de l'ordre de 50 %. Il peut cependant exister localement une galerie non traitée.

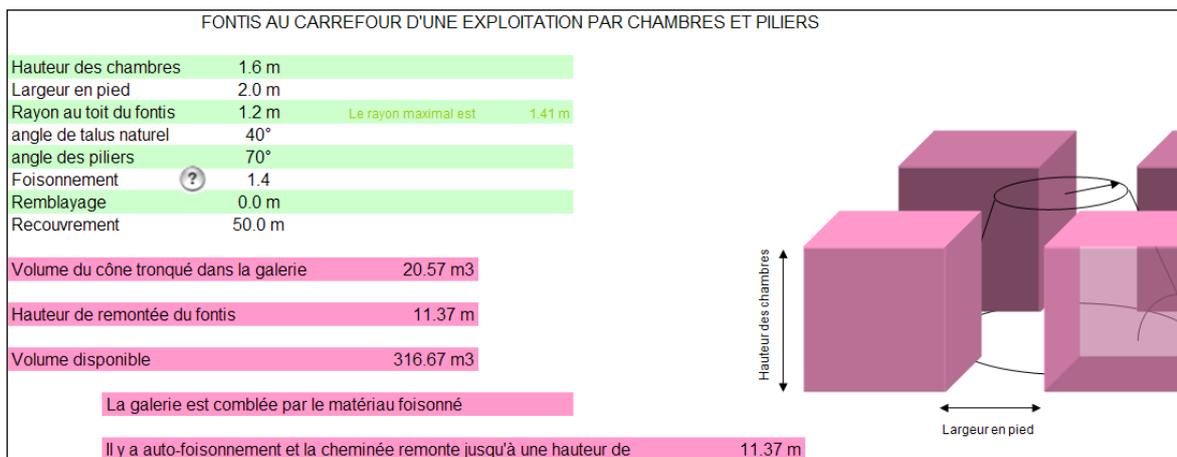
Faute de données détaillées précises sur la présence globale d'un banc résistant dans le recouvrement sur ces travaux, une approche volumétrique doit être réalisée pour évaluer la hauteur maximale de remontée de fontis.

Cette hauteur limite, à partir de laquelle il y aurait, en cas d'éboulement au fond, autocomblement de la cloche de fontis (par le phénomène de foisonnement des éboulis) est estimée à partir d'un modèle de calcul, établi par l'INERIS sous tableur Excel considérant une remontée (ou « cheminée ») de fontis circulaire et un coefficient de foisonnement de 1,4.

Deux scénarios<sup>6</sup> possibles ont été envisagés : le premier correspond à des chantiers remblayés (murets dans les galeries) dans la partie de centrale du secteur à moins de 50 m de profondeur (Illustration 32) alors que le deuxième est une configuration plutôt extrême de galeries d'infrastructure croisant les chantiers et non remblayées (Illustration 33).

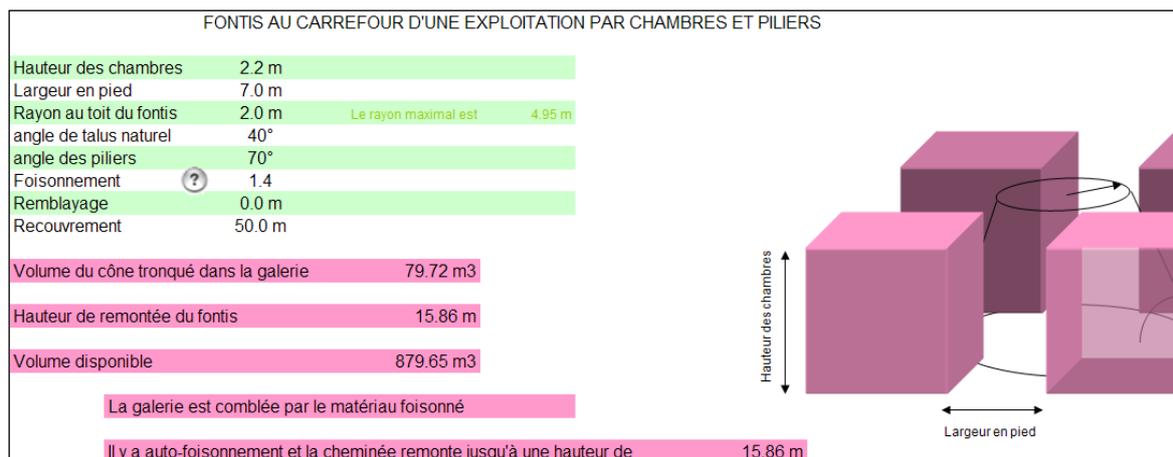
En conclusion de ces calculs et par sécurité, nous avons donc retenu que :

- pour les secteurs situés à moins de 15 m de profondeur, le remblayage partiel des galeries tel qu'il est décrit dans les PV de visite n'est pas suffisant pour empêcher un débouché au jour d'un fontis. La prédisposition est donc qualifiée de sensible ;
- pour les secteurs situés entre 15 de 20 m de profondeur, un fontis ne pourra déboucher au jour que si les galeries n'ont pas été remblayées. La prédisposition est donc qualifiée de peu sensible compte tenu du remblayage de l'essentiel des chantiers ;
- une prédisposition nulle est définie au-delà de 20 m de profondeur.



**Illustration 32 : Calcul de remontée de fontis au-dessus d'exploitations en chambres et piliers, scénario 1**

<sup>6</sup> Seul le cas d'une rupture du toit d'une galerie a été détaillé ici. En effet, la rupture d'un pilier isolé conduisant généralement à majorer le rayon de l'effondrement au toit de la cavité dans le calcul, il en résulte une hauteur de remontée moindre que celle obtenue suite à la rupture du toit seul.



**Illustration 33 : Calcul de remontée d'un fontis au-dessus d'exploitations en chambres et piliers, scénario 2**

#### 4.2.1.2 Evaluation de l'intensité

La majorité des effondrements localisés observés sont de diamètre limité : de l'ordre de 3 à 5 m. L'intensité du phénomène redouté en surface, en cas de remontée d'un fontis, est globalement proportionnelle au volume du vide et donc aux dimensions de la galerie. S'agissant de galeries connues de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, le diamètre maximal d'un fontis en surface se limitera à la somme de la largeur de la galerie et de la largeur d'extension d'un cône de 45° jusqu'à la profondeur de 2 m. On obtient donc un diamètre maximal de l'ordre 6 à 8 m. Cette valeur ne tient pas compte du faible volume disponible qui diminuera nécessairement cette largeur.

Compte tenu de ces éléments, l'intensité du phénomène sera au plus modérée (diamètre du cratère compris entre 3 et 10 m au maximum) en référence au guide PPRM [1].

Dans tous les cas, sachant que ces travaux sont hors d'eau, que le recouvrement est plutôt rocheux, qu'il n'y a que peu de formations superficielles et que le volume des vides au fond est relativement faible, le fontis au jour, sera probablement de faible profondeur (au plus métrique).

#### 4.2.1.3 Evaluation de l'aléa

Compte tenu de l'intensité du phénomène redouté, considérée comme **modérée** sur l'ensemble des zones d'anciens travaux miniers, le croisement avec deux niveaux de prédispositions différents conduit à proposer deux niveaux d'aléas :

- **niveau moyen** pour les travaux exploités en chambres et piliers ou traçage de galeries situés à moins de 15 m de profondeur, le croisement d'une intensité modérée avec une prédisposition sensible ;
- **niveau faible** pour les travaux exploités en chambres et piliers ou traçage situés entre 15 et 20 m de profondeur, le croisement d'une intensité modérée avec une prédisposition peu sensible.

L'aléa effondrement localisé est nul au-delà.

Les travaux à faible profondeur d'Avéjan ont été entièrement remblayés en 2000. L'aléa effondrement localisé est donc écarté. Ne subsiste donc que les vieux travaux du sud de la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols. L'illustration 34 suivant synthétise les niveaux d'aléa effondrement localisés par secteurs étudiés.

	Zones	Méthode	Prof (min)	Prédisposition	Intensité	Aléa effondrement localisé
Concession de St-Jean-de-Maruéjols - SFA	Zone 1 ou Travaux de La Minette	Galerie isolée et travaux superficiels		Sensible (0-15 m de profondeur)	Modérée	Moyen
	Zone 2 ou Travaux en chambres et piliers < 1910	Chambres et piliers abandonnés, localement et/ou partiellement remblayés		Peu sensible (15-20 m de profondeur)	Modérée	Faible
	Zone 3 ou Travaux du puits Vian	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage			Modérée	
	Zone 4 ou Travaux du Petit Puits	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage			Modérée	
	Zone 5 ou Travaux du Puits Bond	Chambres et piliers abandonnés non remblayés		Nulle (> 20 m de profondeur)	Modérée	-
Concession de Rébésou SFA	Zone 6 ou Travaux en chambres et piliers < 1950	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage	> 50 m	Nulle	Modérée	-
	Zone 7 ou Travaux en chambres et piliers de 1950 à 1977	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage de 45 % des chambres	> 50 m	Nulle	Modérée	-
	Zone 8 ou Travaux de 1977 à 1988	Traçage de galeries et larges piliers	> 50 m	Nulle	Modérée	-
	Partie sud-ouest de la zone 8	Ilots foudroyés	> 50 m	Nulle	Modérée	-
Concessions de Fontcouverte et Mas Tauille SMAC	Quartier d'Avéjan	Tailles chassantes remblayées Chambres et piliers abandonnés, sans torpillage ni remblayage		Nulle	Modérée	-
	Travaux du puits Delamare	Traçage de galeries et de piliers (remblayage probable). Dépilage très local (50 m <sup>2</sup> ) puis remblayage.	> 50 m	Nulle	Modérée	-
	Travaux du Puits Alexandre	Traçage de galeries et de piliers.	> 50 m	Nulle	Modérée	-
	Travaux du Puits Incliné	quartiers -47 Nord, -47 Sud, -73, -29	Chambres et piliers abandonnés non remblayés probablement foudroyés naturellement (sans mécanisation)	160 m	Nulle	Modérée
panneaux X et Y		Chambres et piliers probablement foudroyés naturellement (avec mécanisation)	100 m	Nulle	Modérée	-
D et -95		Non exploités	-	Nulle	modérée	-
Concession d'Avéjan	Travaux artisanaux pour lignite	Grattages par galerie	< 15 m	Sensible	modérée	Moyen

**Illustration 34 : Synthèse de l'évaluation de l'aléa effondrement localisé sur travaux**

## 4.2.2 Effondrement localisé lié aux puits

### 4.2.2.1 Evaluation de la prédisposition

Les puits mis en sécurité « *suivant les règles de l'art* » et pour lesquels un recollement des travaux de mise en sécurité a été réalisé seront regroupés en une seule et même catégorie (à l'exception du puits Bond, voir ci-après). Ces puits connus et accessibles lors de l'établissement des DADT ont été mis en sécurité par remblaiement et bouchon autoportant. Pour ces ouvrages, l'aléa est écarté, mais il faudra éviter toute urbanisation future à leur aplomb. On ne peut en effet pas exclure une réponse de l'ouvrage si des structures à forte descente de charge étaient implantées directement à son aplomb. Les bouchons mis en place n'ont en effet pas été dimensionnés vis-à-vis de ce type de sollicitation.

Les autres puits n'ont pas été retrouvés en 2008 (pour les ouvrages SFA) ni en 2010 (pour les derniers ouvrages de la SMAC). Il est donc très probable qu'ils aient été comblés. Ne disposant d'aucune information sur leur mode précis de remblayage et encore moins sur le traitement de leur tête, il n'est pas possible d'écarter le scénario de débouillage de la colonne accompagné d'une rupture de la tête. Toutefois, il s'agit de puits peu profonds (~20 m au maximum) et d'au plus une recette, ainsi la prédisposition au vide dans leur colonne est limitée est définie comme **peu sensible** ou **sensible**.

On ajoutera à cette catégorie le puits Bond dallé en tête, mais pour lequel la colonne n'est pas remblayée.

### 4.2.2.2 Evaluation de l'intensité

L'intensité d'un effondrement de puits est principalement tributaire de la géométrie, du volume de l'ouvrage et de la nature des terrains de surface. D'une manière générale, le débouillage de remblai est d'intensité plus importante si le puits possède un grand diamètre.

Les désordres en surface correspondant à des effondrements circulaires coniques au droit de localisation de puits présentent des diamètres variables de 2 - 3 m jusqu'à près de 10 m dans certains cas particuliers.

Compte tenu de la dimension des ouvrages connus, l'effondrement localisé de la tête de puits aura une dimension au moins supérieure à son diamètre, soit de quelques mètres à une dizaine de mètres. Pour les ouvrages non retrouvés, un diamètre de puits forfaitaire réaliste de 2 m a été retenu.

L'intensité du phénomène n'est pas liée à la nature de la mise en sécurité. On considère en effet que même pour un puits traité, si un désordre apparaît un jour, l'intensité maximale possible sera équivalente à celle d'un ouvrage non mis en sécurité.

L'intensité du phénomène redouté peut donc être jugée **limitée** ou **modérée**.

### 4.2.2.3 Evaluation de l'aléa

Par croisement du niveau d'intensité avec le niveau de prédisposition, nous avons retenu les niveaux d'aléa suivants :

- **niveau faible**, croisement d'une intensité limitée avec une prédisposition sensible ou croisement d'une intensité modérée avec une prédisposition peu sensible pour les puits Echelles, puits d'aération (ouvrages n°8 et n°20), puits Malo, les 2 anciens puits (ouvrages n° 12 et n° 13), les puits 1 et 2 et le puits de reconnaissance,
- **niveau moyen**, croisement d'une intensité modérée avec une prédisposition sensible pour le puits Bond et le puits Vian.

Sept puits n'engendrent pas d'aléa. Il s'agit des puits sécurisés de façon pérenne par pose d'un bouchon béton précédé d'un remblayage complet de la colonne. Il s'agit des puits suivants : Puits Goldney, Berry, Petit puits, puits Incliné, Puits Delamare, Puits des Blaches, Puits Alexandre.

## 4.3 Evaluation de l'aléa affaissement progressif

### 4.3.1 Evaluation de la prédisposition

Il existe une forte hétérogénéité des configurations de chambres et piliers. L'évaluation de la stabilité a donc été réalisée en détaillant au mieux chaque quartier concerné.

Notons au préalable que pour l'ensemble des travaux de la concession de Rébésou, où un affaissement progressif est en cours, la prédisposition correspond plus à une estimation de la durée durant laquelle le mouvement va continuer. Un affaissement résiduel se produit actuellement à l'aplomb des chantiers en chambres et piliers et sur les dépilages et pour plusieurs années encore. Nous qualifierons cette prédisposition de **sensible** pour les zones 6 à 8, sauf sur la partie de la zone 8 en traçage où la prédisposition est nulle.

Sur la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, deux panneaux sont susceptibles de produire un affaissement. Il s'agit du secteur en chambres et piliers du puits Vian et du secteur en petits piliers au nord du puits Bond. Les autres secteurs (zones 2, 4 et 5-complémentaire) sont situés à faible profondeur et ne sont pas susceptibles de s'affaisser.

#### 4.3.1.1 Secteurs en chambres et piliers – zones 6 et 7

Sur ce secteur, il s'est produit un affaissement de l'ordre de 40 cm et la vitesse de l'affaissement maximum s'est considérablement réduite et est en cours de stabilisation. De plus, la description des travaux souterrains a montré que le volume des vides est réduit d'au moins 30% compte tenu du triage au fond. Cette dernière constatation incite à réduire l'affaissement total prévisible de moitié.

L'estimation l'amplitude maximale de l'affaissement (notée  $A_m$ ) peut être réalisée à partir de l'expérience acquise sur l'affaissement au droit des anciennes exploitations minières menées en chambre et piliers (notamment le bassin ferrifère lorrain ou pour le bassin houiller<sup>7</sup> du Nord et du Pas-de-Calais) [9]. Ainsi, il a été montré que l'affaissement maximal était proportionnel à l'ouverture des travaux selon la relation suivante :

$$A_m = \tau \times W \times q, \text{ avec :}$$

$A_m$  : l'affaissement maximal attendu ;

$\tau$  : le taux de défructement ;

$q$  : un coefficient de proportionnalité fonction de la profondeur et des dimensions des panneaux exploités ;

$W$  : l'ouverture des vides miniers.

---

<sup>7</sup> Nous adoptons ici les règles d'évaluation des affaissements et paramètres de la cuvette d'affaissement de bassins miniers où les terrains de recouvrement sont jugés globalement souples.

Dans le cas de la concession étudiée, l'ouverture a été considérée voisine de 3 m et le taux de défrètement proche de 75%. Pour ce qui est du facteur  $q$  qui fluctue d'un site à un autre, l'expérience dans les bassins miniers (les dimensions étant critiques : profondeur des travaux voisins des dimensions des panneaux) a montré que la valeur de 0,5 est raisonnable.

L'affaissement maximal attendu, estimé à partir de la relation précédente, est d'environ 1,1 m. Or, l'affaissement mesuré jusqu'alors n'est que d'environ 40 cm. On ne peut donc pas exclure une poursuite d'affaissement, même si des incertitudes persistent sur la valeur du coefficient  $q$  mais aussi sur le volume réellement disponible au fond compte tenu du remblayage partiel des vides par les stériles.

La comparaison des courbes de convergence et d'affaissement montre une relative similitude même si un écart subsiste. En effet, les valeurs d'affaissement sont supérieures d'un facteur 2 ou 3 aux valeurs de convergence.

La relative similitude entre la valeur de la convergence au fond synchronisée avec l'affaissement en surface est cohérente avec un comportement d'un toit plastique pesant, ceci écartant de fait le risque d'effondrement en masse dans ce contexte géologique.

L'écart entre l'affaissement théorique calculé et ce qui est mesuré par convergence ou nivellement pourrait venir du fait que la mise en place du réseau de nivellement en surface a eu lieu 2 mois après le coup de toit et les mesures de convergence presque 1 an après. Il est donc fort probable qu'une majeure partie de la convergence au fond s'est produite lors ou juste après le coup de toit. Celle-ci n'a donc pas été mesurée.

Une estimation simple basée sur l'observation de la cuvette d'affaissement en surface montre que l'étendue de la zone influencée en surface est approximativement le double de la zone éboulée au fond. Il ne manquerait donc après calcul qu'une vingtaine de centimètres initiaux aux mesures de convergence pour expliquer en surface un affaissement tel que celui mesuré.

Partant de ce constat, la valeur du coefficient  $q$  retenue à 0,5 est cohérente et donne donc une relativement bonne estimation de l'affaissement maximal total à 1,1 m maximum.

Après cette approche volumétrique de l'affaissement maximum serait de l'ordre de 0,6 m. On peut donc raisonnablement penser que la majorité de l'affaissement s'est déjà probablement produit. On n'exclut cependant pas une poursuite de l'affaissement en surface. Son amplitude sera néanmoins réduite probablement d'ordre décimétrique avec une vitesse de l'ordre du mm / an.

#### **4.3.1.2 Secteurs exploités par la méthode des îlots réduits – zone 8 (partie sud-ouest)**

Au droit de ces secteurs, l'affaissement constaté n'est que de quelques centimètres durant la période allant de 1991 à 2008. Cette évolution est conforme aux évolutions attendues lors de l'emploi d'une telle méthode.

L'envoyage de ces travaux foudroyés pourrait produire une remobilisation des éboulis qui pourrait se traduire par une légère remobilisation de la surface.

N'ayant pas pu visiter ces travaux foudroyés, nous retenons par sécurité la possibilité d'une poursuite de l'affaissement à leur aplomb d'une amplitude équivalente à celle qui s'est déjà produite, à savoir 10 cm environ.

### 4.3.1.3 Secteur de traçage – zones 7 et 8 (partie sud-est)

Au droit de ces secteurs (piliers de 15 m de côté et galeries de 4 à 5 m de large), les vides résiduels étant limités, on peut exclure tout mouvement de la surface du sol, de type affaissement, induit par les travaux à leur aplomb.

En revanche, on ne peut pas écarter que les cuvettes d'affaissement se développant au droit des exploitations partielles voisines viennent s'étendre dans ces secteurs, du fait de l'angle d'influence. C'est pour cette raison qu'une partie de ces secteurs est concernée par l'aléa affaissement progressif de niveau faible.

### 4.3.1.4 Travaux du puits Vian – zone 3

Lorsque la largeur totale de la zone exploitée est suffisante (de l'ordre d'une fois à une fois et demie 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  $Q_n$  qu'il est possible de comparer à la résistance ultime à la compression  $R_u$ , pour obtenir ainsi un coefficient de sécurité.

$$Q_n = \frac{\gamma \cdot H}{1 - \tau} = 6,1 \text{ MPa}$$

où :

$\gamma$  : poids volumique moyen des terrains de recouvrement, en MN/m<sup>3</sup> soit 0,022 ;

H : hauteur du recouvrement maximal du panneau de dimension critique sur la zone exprimée en mètres, soit 110 m pour le quartier Vian ;

$\tau$  : taux de défruitement, correspondant au rapport de la surface des vides à la surface totale soit 60 % pour Vian.

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 Fs.

Les valeurs retenues pour réaliser ce calcul sont issues de la phase informative réalisée précédemment sur ce gisement. Nous avons retenu la valeur de 11 MPa comme résistance ultime du matériau.

Le calcul du coefficient de sécurité :

$$F_s = R_u / Q_n \text{ avec } R_u = 11 \text{ MPa et } Q_n = 6,1 \text{ MPa} \\ \text{Soit : } F_s = 1,8$$

Pour ce panneau, la phase informative a clairement montré que les travaux sont partiellement remblayés. Le taux de défruitement de 60% est une valeur maximale, de même que la résistance ultime retenue est peut-être un peu pessimiste pour des piliers d'élancement inférieur à 1.

Cette zone est, de plus, noyée depuis une centaine d'années. Dans ce cas particulier, on considérera que la prédisposition au phénomène d'affaissement est **peu sensible** compte tenu de ce qui est énoncé au-dessus.

#### 4.3.1.5 Petits piliers de la zone du puits Bond – zone 5 (partie nord-ouest)

Comme pour le cas précédent, nous appliquons le modèle classique de l'aire tribulaire.

$$Q_n = \frac{\gamma \cdot H}{1 - \tau} = 9,9 \text{ MPa}$$

où :

$\gamma$  : poids volumique moyen des terrains de recouvrement, en MN/m<sup>3</sup> soit 0,022 ;

H : hauteur du recouvrement maximale du panneau de dimension critique sur la zone exprimée en mètres, soit 90 m pour ce quartier ;

$\tau$  : taux de défrètement, correspondant au rapport de la surface des vides à la surface totale soit 80 %.

Les valeurs retenues pour réaliser ce calcul sont issue de la phase informative réalisée précédemment sur ce gisement. Nous avons retenu précédemment la valeur de 11 MPa comme résistance ultime du matériau.

Le calcul du coefficient de sécurité :

$$F_s = R_u / Q_n \text{ avec } R_u = 11 \text{ MPa et } Q_n = 9.9 \text{ MPa} \\ \text{Soit : } F_s = 1,1$$

Le coefficient de sécurité obtenu pour ce panneau ne permet pas d'en garantir la stabilité à long terme.

On considérera que la prédisposition au phénomène d'affaissement est donc **sensible**.

#### 4.3.1.6 Travaux en chambres et piliers situés entre 20 et 50 m de profondeur

Lors de l'analyse de l'aléa effondrement localisé sur la concession de Saint-Jean-de-Maruéjols, l'expertise s'est basée sur le scénario de la rupture du toit entre deux piliers stables ou de celle de la rupture d'un seul pilier fragilisé<sup>8</sup>. Cette hypothèse est généralement valable à faible profondeur (< 20 m), les piliers étant faiblement chargés, en tout cas, en dessous de leur résistance à long terme.

Pour les travaux un peu plus profonds (20-50 m), les calculs de remontée de fontis révèlent qu'il n'est plus possible d'avoir report au jour d'un effondrement localisé. En revanche, si la rupture au fond est liée à la ruine de plusieurs piliers, il n'est pas improbable qu'apparaisse en surface une légère dépression de type affaissement.

Il est difficile de qualifier la prédisposition à la ruine de probables piliers fragilisés, une approche forfaitaire et sécuritaire a été retenue et un niveau **peu sensible** a été défini.

On précisera que dans la partie des travaux proche du Petit Puits, l'approche est très sécuritaire car les piliers sont plus massifs.

---

<sup>8</sup> En effet, l'expérience montre que dans les exploitations par chambres et piliers, il n'est pas impossible qu'un pilier ou un groupe de piliers soient plus dégradés que d'autres. Cette dégradation peut avoir pour origine une fracturation naturelle plus importante ou encore un incident de tir pendant l'exploitation ou un dégraissage abusif.

### 4.3.1.7 Travaux du puits Incliné

Les travaux associés au puits Incliné ont généré des affaissements, comme l'indique les données de nivellement. Notons, toutefois que si l'aléa affaissement est déjà avéré, il risque encore de se poursuivre plusieurs années. Les configurations des travaux font que tout ce secteur doit être analysé du point de vue de ce mécanisme.

Afin d'évaluer l'intensité de l'affaissement, nous avons mené une analyse qui consiste à considérer que :

- la totalité des travaux souterrains réalisés est restée dans le même état jusqu'à ce jour. On sait que cette hypothèse est probablement fautive pour les travaux associés au puits Incliné (a priori en partie refermés) ;
- les travaux souterrains sont susceptibles à l'avenir de se refermer totalement.

Compte tenu de cette approche sécuritaire, les paramètres d'affaissement évalués devront être considérés comme majorants.

En reprenant les mêmes paramètres et formules que ceux retenus pour les évaluations faites sur le secteur de Rébésou (soit  $A_m = q \times W \times \tau$ ), nous obtenons les valeurs de  $A_m$  suivantes, par quartier (Illustration 35).

De ces valeurs, définies sur la base d'une approche sécuritaire, nous apportons les éléments d'éclairage suivants :

- Les valeurs données sont probablement surestimées pour les panneaux situés en aval du puits Incliné (-29, -47 N, S et -95) qui sont aujourd'hui, selon toute vraisemblance, au moins en partie refermés (peut-être complètement en certains points), comme l'indique les documents d'archives. Par ailleurs, le suivi des affaissements à l'aplomb des travaux exploités dans ce secteur semble indiquer que les affaissements ont, pour l'essentiel, déjà eu lieu (amplitude métrique), notamment au centre de la cuvette.

Soit une prédisposition **peu sensible** à la fermeture des travaux souterrains.

- Pour le panneau Y, on peut, par contre, envisager que, pour l'essentiel, il soit encore en place, au moins pour les piliers les plus larges. Ceci était d'ailleurs le cas en 1995, lors des visites réalisées au fond. Un calcul du coefficient de sécurité relatif à la stabilité des piliers conduit à retenir une valeur<sup>9</sup> au moins égale à 1,6 ( $R_u = 11$  MPa, profondeur retenue de 130 m et poids spécifique des terrains de 22 kN/m<sup>3</sup>). D'après les informations disponibles, il semble que seuls les piliers les plus petits (5 par 5 m) présentaient des signes de mise en charge. En surface, les quelques bornes de nivellement présentes à l'aplomb de ce secteur n'ont pas montré à ce jour de déplacements significatifs. Une borne située à l'aplomb du bord sud-est du panneau a montré une évolution de 2 cm, à un rythme à peu près constant, sur les 20 dernières années. Elle n'avait pas bougé lors de 10 années précédentes. Ce constat indique que, soit l'évolution des travaux au fond n'occasionne pas de répercussion en surface significative (liée à la faible dimension du panneau par rapport à sa profondeur), soit, ce qui est plus probable à notre sens, que les piliers sont encore en place aujourd'hui, au moins pour les plus larges d'entre eux, indiquant une stabilité d'ensemble de ce secteur de travaux.

Soit une prédisposition **peu sensible** à la rupture/fermeture des travaux souterrains.

---

<sup>9</sup> Dans l'approche développée en 1995,  $R_u=15$  MPa) le facteur  $F_s$  était de 1,8.  $R_u=15$  MPa retenue à partir du retour d'expérience issu des observations au fond dans des quartiers où les piliers ont un élancement proche ou supérieur à 1, [1], [2].

- Cas du panneau X. Au sein de ce panneau, plusieurs configurations d'exploitation assez différentes sont présentes. Les valeurs indiquées dans l'illustration 35 reflètent ces différences. Nous distinguons, l'extrémité nord du panneau de la zone centrale et sud.
  - au nord, le panneau se trouve à une profondeur de l'ordre de 130 m. Le taux de défrèvement est de 60 % et le rapport L/H n'excède pas 0,3. On distingue deux familles de piliers, les plus petits ont 6 à 7 m de côté et les plus grands 7-8 m par 12-15 m. Comme pour le quartier Y, un calcul du coefficient de sécurité à la rupture des piliers donne une valeur de l'ordre de 1,6. On peut donc envisager, comme cela a été constaté dans le quartier Y, que les piliers de cette partie nord du panneau sont encore en place et qu'ils soient stables sur le long terme.

Soit une prédisposition **peu sensible** à la fermeture des travaux souterrains.

- pour les parties centrales et sud, le taux de défrèvement est plus élevé, respectivement de 80 et 75 % pour des profondeurs de 120 à 100 m. Dans la partie centrale, le panneau présente des piliers allongés étroits (3 m de large pour une dizaine de mètres de long en moyenne) et l'ensemble du panneau présente des dimensions critiques ( $L/H = 0,9$ ). Un calcul du coefficient de sécurité à long terme vis-à-vis de la rupture des piliers donne une valeur de l'ordre de 1. Compte tenu de ces éléments, il est clair que la stabilité de ce panneau sur le long terme n'est pas assurée. Or, il est avéré que des affaissements significatifs se sont déjà produits à l'aplomb de cette zone. Selon toute vraisemblance, ils ont été supérieurs au mètre au centre du panneau (1 m relaté à l'extérieur de ce dernier). Il n'existe plus de mouvements significatifs depuis au moins une dizaine d'années. Ces constats permettent d'avancer que l'essentiel des affaissements a déjà probablement eu lieu. Les valeurs des paramètres d'affaissement indiquées dans le tableau ci-avant correspondent à une valeur d'affaissement résiduel que nous avons considéré, par sécurité, pouvant encore atteindre au plus de 1 m au centre du panneau.

Soit une prédisposition **peu sensible** à la rupture/fermeture des travaux souterrains.

	<b>Am</b>
Panneau -29	< 1,3 m
Panneau – 47 N	< 1 m
Panneau – 47 S	< 1 m (*)
Panneau - 73	< 1,3 m
Panneau – 95	< 1 m
Panneau Y	< 1 m
Panneau X (**)	< 1 m

(\*) Une réduction de Am de 40 % correspondant à  $H/L = 0,4$  a été retenue, bien que le panneau ait une valeur réelle de  $H/L = 0,3$ .

(\*\*) Valeurs extrêmes quelle que soit la configuration : 1 m d'Am à l'aplomb des panneaux affaissés ou < 1 m d'Am à l'aplomb du panneau peu défruté et sous-critique

#### **Illustration 35 : Valeurs d'Am attendues (travaux du puits incliné)**

### **4.3.1.8 Travaux du puits Alexandre**

Le quartier Alexandre a été exploité entre 1924 et 1936 à partir du puits Alexandre.

Le panneau présente une longueur et une largeur totale respectivement de 180 et 80 m et se situe à une profondeur comprise entre 70 m (au sud) et 110 m (au nord). L'ouverture exploitée est de 4 m (4,5 m par endroit).

La géométrie des piliers est complexe : on rencontre différentes tailles de piliers, 3 par 3 m pour les plus petits, 5 m par 10-12 m pour les plus nombreux et quelques piliers de 6-7 m par plus de 20 m de longueur.

Au regard des dernières données acquises et de l'analyse de stabilité du DADT de ce panneau, il n'y a pas de raison de remettre en cause les conclusions énoncées qui « assuraient la stabilité globale du panneau ». Soit une sensibilité nulle à la rupture.

Toutefois, nous ne pouvons exclure, sur le long terme, la rupture des quelques plus petits piliers de ce panneau. Il en existe quelques-uns dans les deux moitiés nord et sud du panneau. Une prédisposition **peu sensible** leur sera associée.

#### 4.3.1.9 Quartier Delamare

Ce quartier n'a été exploité que 3 années de 1912 à 1915 et a produit 31 000 T. A cette époque, ces travaux n'avaient qu'une faible ouverture de 2,5 m (comme ceux contemporains du quartier d'Avéjan).

Des traçages ont été menés dans la couche n'individualisant que très localement des piliers de plus faibles dimensions :

- à l'ouest du panneau, un secteur de 40 m de largeur au maximum avec des piliers de 5 par 15 à 20 m de côté et des galeries de 5 m. Le taux de défrètement de ce secteur n'excède pas 60 % ;
- au nord, un secteur exploité en descenderie (légèrement plus bas que le précédent), de moins de 40 m de largeur dans sa plus grande dimension. Il présente seulement deux piliers de 5 m de côté, les autres ayant 5 par 10 à 20 m de côté. Les galeries ont 4 à 5 m de large. Le taux de défrètement n'excède pas également 60 % ;

Une analyse de stabilité des piliers de ce quartier, en prenant une résistance ultime des matériaux constituant les piliers de l'ordre de 11 MPa, conduit à considérer les piliers comme stables avec un coefficient de sécurité minimal supérieur à 1,8. Il faut ajouter que :

- les piliers, pour les plus larges d'entre eux, ont un élancement maximum de 0,5, ce qui irait dans le sens d'une augmentation du facteur de sécurité ;
- ces calculs ne prennent pas en compte la présence de remblais très probable qui viennent conforter les piliers et limiter les probabilités de rupture

Soit une prédisposition **nulle** à la rupture/fermeture des travaux souterrains.

#### 4.3.1.10 Quartier Avéjan

Les travaux souterrains du quartier d'Avéjan ont été réalisés à partir du début du XX<sup>ème</sup> siècle jusqu'en 1925. L'accès se faisait à partir du puits Incliné d'Avéjan.

L'ensemble de ces travaux a fait l'objet d'une étude de stabilité spécifique en 1995. Cette étude a conclu à la stabilité du panneau exploité en chambres et piliers abandonnés à l'ouest du village. Ce panneau était déjà ennoyé à l'époque de l'étude de stabilité. L'analyse a été conduite à partir de données géomécaniques obtenues sur d'autres panneaux.

Les caractéristiques de ce panneau sont les suivantes :

- 130 m de longueur par 75 m de largeur au maximum ;
- profondeur : 65 m ;
- tracé en couche inférieure sur une hauteur de 2,4 m ;
- piliers réguliers carrés de 5 m de côté avec des chambres de 5 m de large. Taux de défrètement : 75 % ;
- existence d'une couche supérieure exploitée localement sur 1,5 m d'ouverture par taille remblayée.

Au regard des points suivants :

- ce panneau a été exploité au début du XX<sup>ème</sup> siècle (pas au-delà de 1925) et est ennoyé depuis cette époque. Aucun mouvement de terrain n'est recensé à son aplomb ;
- compte tenu de la faible profondeur des travaux, la charge qui s'exerce sur les piliers est estimée à 6 MPa environ. Si l'on retient une valeur de résistance ultime de 11 MPa, le coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture des piliers est supérieur à 1,8.

L'existence éventuelle d'hétérogénéités locales (fracturation, moindre résistance des piliers), une évolution de la résistance des piliers, d'effets exogènes telles que des surcharges, et, dans une approche sécuritaire sur du très long terme, nous n'excluons pas complètement la possibilité de rupture au sein de la partie en chambres et piliers de ce panneau, soit une sensibilité **peu sensible**.

En revanche, toute rupture/fermeture est exclue au droit de la zone exploitée de manière totale (taillages chassantes remblayées) dans ce secteur. En effet, compte tenu de l'âge des travaux et de la méthode d'exploitation, nous excluons la possibilité de vides résiduels dans cette zone.

### 4.3.2 Evaluation de l'intensité

Dans le cas d'un affaissement minier, l'intensité du phénomène est directement liée à la mise en pente  $P_m$  des terrains consécutive à la réalisation d'un affaissement d'amplitude donnée, ici  $A_m$ .

Comme pour l'évaluation des valeurs  $A_m$ , nous suivrons les formules appliquées en génie minier en France (notamment en Nord-Pas-de-Calais) [9] :

- $P_m = \beta \times A_m/H$ , pour la mise en pente maximale ;
- $E_m = \alpha \times A_m/H$ , pour la déformation maximale.

$\beta$  et  $\alpha$  sont respectivement de 2,75 et 0,75.

#### 4.3.2.1 Travaux des zones 6 à 8 (partie sud-ouest)

Sur la concession de Rébésou, l'amplitude maximale attendue est de l'ordre, à terme, d'une dizaine de centimètres.

Compte tenu de la profondeur des travaux (~ 250 m), les valeurs de mise en pente sont de l'ordre de 0,5 % maximum et de l'ordre du mm/m en déformation horizontales. Ceci affecte cette zone à un niveau d'intensité **limité**.

#### 4.3.2.2 Travaux du puits Vian – zone 3

Comme pour la prédisposition, le fort remblayage diminue fortement l'amplitude possible de l'affaissement et donc l'intensité. Nous estimons cette amplitude à moins de 50 cm. Les pentes et déformations attendues sont de l'ordre de 2 % maxi et les déformations de moins de 10 mm/m.

On retiendra donc une qualification de l'intensité de **limitée**.

#### 4.3.2.3 Petits piliers de la zone du puits Bond – zone 5 (partie nord-ouest)

La faible ouverture des travaux (1,6 m) conditionne une amplitude maximale d'affaissement limitée (65 cm maxi) qui doit en plus être nuancée par un très probable remblayage partiel des vides.

Si comme pour les autres secteurs de la mine, au moins 30 % de la couche est laissée au fond au triage, après foisonnement, le volume des vides doit être divisé par deux. L'amplitude de l'affaissement devrait n'être que de 30 à 40 cm.

La mise en pente sera de l'ordre de 1 à 2 % et une déformation de l'ordre de 5 à 8 mm/m. L'intensité est donc qualifiée de **limitée**.

#### 4.3.2.4 Travaux en chambres et piliers situés entre 20 et 50 m de profondeur

Compte tenu des dimensions des vides au fond, du foisonnement des terrains du toit éboulé et du volume supplémentaire apporté par l'écroulement des piliers, l'amplitude de la dépression en surface sera certainement limitée (certainement inférieure à 30 cm).

Le phénomène attendu dans toute cette zone est donc assimilé à un affaissement. Il aura la particularité de ne concerner, en cas de survenue, que des zones d'extensions limitées. Nous n'envisageons pas de phénomène de grande extension dans ce secteur.

L'intensité est considérée comme **limitée**.

#### 4.3.2.5 Travaux du puits Incliné

En fonction des différentes valeurs de  $A_m$  établies précédemment sur ce quartier, nous obtenons les valeurs suivantes de  $P_m$ .

On rappelle que :

- Les valeurs données dans l'illustration 36 sont probablement surestimées pour les panneaux situés en aval du puits Incliné (-29, -47 N, S et -95) qui sont aujourd'hui, selon toute vraisemblance, au moins en partie refermés (peut-être complètement en certains points), comme l'indique les documents d'archives. Une intensité **limitée** est définie.
- Panneau Y. En prenant l'hypothèse majorante de fermeture totale des vides au fond sur une hauteur correspondant à la hauteur de vide initiale (7,5 m en moyenne), les déformations attendues restent dans la gamme des intensités **limitées** (< 2,5 %). Compte tenu des dimensions très sous-critiques de ce panneau, ces intensités apparaissent très surestimées.

- Panneau X (nord, centre et sud). Les conséquences en surface de la fermeture de ce panneau, notamment les parties centre et sud, seraient très significatives (affaissements plurimétriques), Or, une part importante de l'affaissement a déjà eu lieu, ce qui minore l'affaissement maximal encore possible dans ce panneau à 1 m au maximum. Dans ce cas, les valeurs de Pm calculées resteraient dans la gamme d'intensités **limitées**, comme dans la partie nord du quartier.

De manière globale les différentes configurations rencontrées se traduisent par une intensité **limitée** ( $P_m < 3\%$ ) (Illustration 36) liée l'importance des affaissements déjà survenus et maintenant en phase de stabilisation, soit une au plus limitée.

	Am	Pm
Panneau -29	< 1,3 m	< 2 %
Panneau – 47 N	< 1 m	< 1,5 %
Panneau – 47 S	< 1 m (*)	< 1,7 %
Panneau - 73	< 1,3 m	< 2 %
Panneau – 95	< 1 m	< 1,4 %
Panneau Y	< 1 m	< 2,4 %
Panneau X (**)	< 1 m	< 2,5 %

(\*) Une réduction de Am de 40 % a été retenue correspondant à  $H/L = 0,4$ , bien que le panneau ait une valeur réelle de  $H/L = 0,3$ .

(\*\*) Valeurs extrêmes quelle que soit la configuration : 1 m d'Am à l'aplomb des panneaux affaissés ou < 1 m d'Am à l'aplomb du panneau peu défruté et sous-critique.

**Illustration 36 : Valeurs de mise en pente attendues (travaux du puits incliné)**

#### 4.3.2.6 Travaux du puits Alexandre

Les zones considérées comme instables dans ce quartier (petits piliers dans les parties nord et sud de la zone) sont très largement sous-critique, les affaissements potentiels seraient certainement d'intensité au plus **limitée** (mise en pente de l'ordre du pourcent).

#### 4.3.2.7 Quartier Delamare

Si l'on considère le quartier complètement ouvert (approche sécuritaire<sup>10</sup>), on pourrait s'attendre, au plus, à un affaissement maximum, Am, au centre du panneau considéré de l'ordre de 30 cm, soit une mise en pente inférieure à 0,8 %.

Ainsi l'intensité des affaissements potentiels est définie comme **limitée**.

#### 4.3.2.8 Quartier d'Avéjan

##### Cas du panneau exploité en chambres et piliers situé à l'ouest du village

Compte tenu de la relative faible profondeur des travaux (de l'ordre de 65 m), des mouvements en surface de type affaissement, d'intensités **limitées** (de l'ordre de 3 % de mise en pente) pourraient survenir.

<sup>10</sup> L'ouverture réelle des travaux actuels est probablement réduite par l'existence au fond de remblais issus du triage du minerai dans les chantiers souterrains (pratique régulière dans les exploitations de SMAC et SFA à cette époque)

Pour mémoire, les secteurs exploités en tailles chassantes ne sont plus susceptibles de générer des affaissements du fait de l'absence de vides résiduels au fond. En revanche, du fait de recompaction ou de réorganisation des contraintes dans le massif, la surface du sol peut être de siège de mouvements différentiels de faible amplitude de type tassements.

### **4.3.3 Evaluation du niveau d'aléa**

Les croisements des niveaux d'intensité et de prédisposition définissant les niveaux d'aléa relatifs aux affaissements sont synthétisés dans l'illustration 37.



	Zones	Méthode	Dates	Prof (min/max)	Largeur (m)	L/H (moy)	Ouverture (m)	$\tau$ (taux de défruitement)	Prédisposition	Intensité	Aléa affaissement progressif	
Concession de Saint-Jean-de-Maruéjols - SFA	Zone 1 ou Travaux de La Minette	Galerie isolée et travaux supposés	Avant 1910	0/20	1,5	-	1,5	-	-	-	-	
	Zone 2 ou Travaux en chambres et piliers	Chambres et piliers abandonnés, localement et/ou partiellement remblayés	Avant 1910	0/60	8/10		1,5/2,2		-	-	-	
	Zone 3 ou Travaux du puits Vian	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage des chambres	Entre 1908 et 1914	110	4/5		3/4	60%	Peu sensible	Limitée	Faible	
	Zone 4 ou Travaux du Petit Puits	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage des chambres	Entre 1914 et 1930	20/45	3/4 ; 5/6		1,6	75%	Peu sensible	Limitée	Faible	
	Zone 5 (partie nord-ouest) ou Travaux du Puits Bond	Chambres et piliers abandonnés non remblayés	Entre 1914 et 1930	90	10		1,8	80%	Sensible	Limitée	Faible	
Concession de Rébésou SFA	Zone 6	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage des chambres	1932 1950	220/280	4/5	L/H>>1	3	75%	Sensible	Limitée	Faible	
	Zone 7	Chambres et piliers abandonnés puis remblayage de 45 % des chambres	1950 1977	220/280	5	L/H>>1	3	75%	Sensible	Limitée	Faible	
	Zone 8 (partie sud-est)	Traçage de galeries et larges piliers	1977 1988			L/H>>1	3	75%	-	-	-	
	Partie sud-ouest de la zone 8	Ilots foudroyés	1988 à la fin	275/300	5	L/H>>1	7,5	75%	Sensible	Limitée	Faible	
Concessions de Fontcouverte et Mas Taulelle SMAC	Quartier d'Avéjan	Tailles chassantes remblayées (80 % de la surface exploitée). Chambres et piliers abandonnés, sans torpillage ni remblayage (20 % de la surface exploitée)	1920 1925	65	75		2,5	75%	- Peu sensible	Limitée	- Faible	
	Travaux du puits Delamare	Traçage de galeries et de piliers (remblayage probable). Dépilage très local (50 m²) puis remblayage.	1907 1920	100	40		2,5	60%	-	Limitée	-	
	Travaux du Puits Alexandre	Traçage de galeries et de piliers – Ensemble de la zone	1924 1934	70/110	80		4/4,5		-	-	-	
		Traçage de galeries et de piliers – Secteurs de Petits piliers	1924 1934	70/110	80		4/4,5		Peu sensible	Limitée	Faible	
	Travaux du Puits Incliné	quartiers -47 Nord, -47 Sud, -73, -29	Chambres et piliers abandonnés non remblayés probablement foudroyés naturellement (sans mécanisation) (1932 – 1970)	1932-1970	160/230	60 à 160	0,3 à 0,6	4-5	70 %	Peu sensible	Limitée	Faible
		parties centrales et sud du panneau X	Chambres et piliers probablement foudroyés naturellement (avec mécanisation)	1964-1994	100/140	60 à 110	0,4 à 0,9	7-8	60 à 80 %	Peu sensible	Limitée	Faible
		panneaux Y et complémentaire panneau X D et -95	Chambres et piliers probablement foudroyés naturellement (avec mécanisation) (1964 – 1994)	1964-1994	100/140	60 à 110	0,4 à 0,9	7-8	60 à 80 %	Peu sensible	Limitée	Faible
	Non exploités (tracés)		-	-	-	-	-	-	-	-		

Illustration 37 : Synthèse de l'évaluation de l'aléa affaissement progressif



## 4.4 Evaluation de l'aléa tassement

### 4.4.1 Evaluation de l'aléa tassement lié aux dépôts

La phase informative a permis de recenser 3 dépôts à proximité des anciens ouvrages d'exploitation. Ils sont constitués de blocs relativement homogènes et dont la taille varie de quelques centimètres à quelques décimètres. Ils sont tous végétalisés, aplanis en sommet et pentés sur les extrémités.

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

Aucun cas de tassement lié à ce mécanisme n'a été porté à notre connaissance sur les secteurs. On notera, cependant, qu'en général, l'absence de bâtiments, d'infrastructures ou d'activités humaines au droit de ces zones ne permet pas l'observation ou le suivi de ce type de phénomène.

Faute de données plus détaillées, nous proposons de définir forfaitairement l'aléa tassement pour l'ensemble des secteurs constitués par l'emprise des dépôts miniers. Ainsi, nous proposons un niveau d'aléa **faible**, croisement d'une prédisposition **peu sensible** avec une intensité **limitée** (compte tenu de l'impact limité du phénomène en surface).

### 4.4.2 Evaluation de l'aléa tassement lié aux tailles chassantes remblayées

Un aléa tassement est maintenu à l'aplomb des seuls travaux exploités en tailles chassantes du quartier d'Avéjan.

Pour ce secteur, on peut s'attendre à des effets d'ordre centimétrique qu'il conviendra de prendre en compte pour de nouvelles constructions. Ainsi, nous proposons comme précédemment, un niveau d'aléa **faible**, croisement d'une prédisposition **peu sensible** avec une intensité **limitée** (compte tenu de l'impact limité du phénomène en surface).

## 4.5 Cartographie des aléas

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

### 4.5.1 Cartographie de l'aléa affaissement progressif

Le zonage sur la carte d'aléa sera tracé à partir du contour des zones exploitées concernées. On ajoutera une incertitude de positionnement des travaux miniers par rapport à la surface de 5 à 10 m en fonction des panneaux concernés et une marge d'influence.

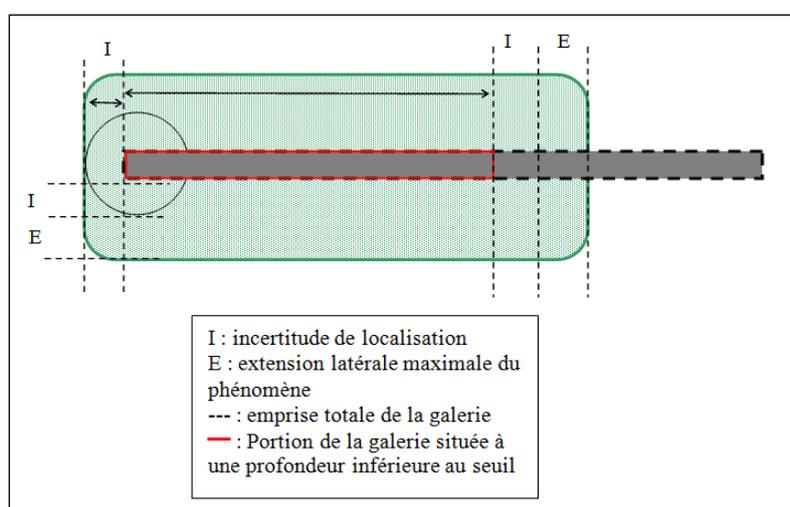
La comparaison de l'étendue de la cuvette d'affaissement sur les travaux de Rébésou avec celle des zones exploitées au fond, donne un angle d'influence de l'ordre de 15 à 18°. Nous retiendrons la valeur de 20° comme zone d'influence pour les secteurs soumis à l'aléa affaissement (marge influence =  $H_{\max} \times \tan(20^\circ)$ ).

## 4.5.2 Cartographie de l'aléa effondrement localisé

### 4.5.2.1 Cartographie de l'aléa effondrement localisé lié aux galeries souterraines et travaux

L'extension 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 (Illustration 38) :

- une marge d'incertitude globale de localisation des galeries et des travaux qui est issue de celle des plans ou de celle du levé dGPS et de celle du fond BD Ortho®. La valeur de cette marge est comprise entre 4 et 13 m (1 à 10 m pour les points levés au dGPS ou issus du calage de plans et 3 m d'orthophotoplan) ;
- une marge d'influence correspondant à l'extension latérale maximale d'un fontis en relation avec l'épaisseur des terrains peu cohérents de surface. La valeur de cette marge dans le cas présent est égale à 2 m (2 m de terrain peu cohérent à 45° d'angle).



**Illustration 38 : Zonage de l'aléa effondrement localisé lié à la présence d'une galerie**

### 4.5.2.2 Cartographie de l'aléa effondrement localisé lié aux puits

On admet globalement que les terrains de recouvrement peuvent avoir été déconsolidés par altération sur une profondeur de l'ordre de 2 m (valeur justifiée par les observations faites sur le terrain). L'angle de cône moyen (angle d'influence) de l'effondrement est estimé à 45° (constaté également sur les cas de fontis).

La zone d'aléa liée aux puits et cheminées est circulaire. Le rayon de la zone d'aléa est défini à partir du centre de ces ouvrages de la façon suivante (Illustration 39) :

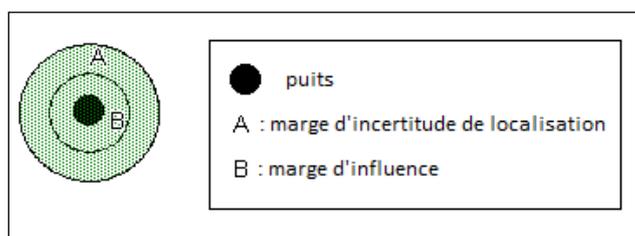
$$R = R_{\text{puits/cheminée}} + R_{\text{influence}} + R_{\text{incertitude de localisation}}$$

Avec :

- $R_{\text{puits/cheminée}}$  = valeur réelle issue des archives;
- $R_{\text{influence}}$ , relatif à l'extension latérale du cône d'effondrement, pris égal à 2 m sur le même principe cité précédemment ;

- $R_{\text{incertitude de localisation}}$  défini de la façon suivante :
  - ouvrages relevés au dGPS : 4 m (dus à l'incertitude de localisation et au report sur la BD ortho<sup>®</sup>) ;
  - ouvrages identifiés sur plans : de 5 à 13 m (dus au calage du plan et au report sur la BD ortho<sup>®</sup>).

On précisera cependant que cette marge d'influence peut être sécuritaire dans le cas des petits puits s'il s'avère que ceux-ci ont bien été remblayés. Dans ce cas, le faible volume disponible limiterait fortement l'emprise de la zone effondrée pour finalement ne se traduire que par un affaissement souple voire un tassement limité au diamètre du puits.



**Illustration 39 : Zonage de l'aléa effondrement localisé lié aux puits**

### 4.5.3 Cartographie de l'aléa tassement

La cartographie de l'aléa tassement concerne les emprises exactes des dépôts ou zone de travaux concernée à laquelle s'ajoute l'incertitude de localisation. La marge d'extension latérale est « nulle » pour les tassements se manifestant au droit exact des objets concernés.



## 5 SYNTHÈSE DES ALÉAS

L'analyse des données obtenues à l'issue de la phase informative a permis d'identifier et d'évaluer les aléas « mouvements de terrain » associés aux anciens travaux miniers de la commune de Saint-Jean-de-Maruéjols. Ils sont synthétisés dans l'illustration 40 ci-dessous.

Phénomène attendu	Prédisposition	Intensité	Aléa
Effondrement de type fontis lié aux travaux et galeries situées à moins de 15m de profondeur	Sensible	Modérée	Moyen
Effondrement de type fontis lié aux travaux situées entre 15 et 20 m de profondeur	Peu sensible	Modérée	Faible
Effondrement localisé liés aux puits Bond et puits Vian	Sensible	Modérée	Moyen
Effondrement localisé lié aux puits des échelles, d'aérages, puits Malo, 2 anciens puits, puits 1, puits 2 et puits de reconnaissance	Peu sensible Sensible	Modérée Limitée	Faible
Affaissement sur travaux en chambres et piliers abandonnés ou localement remblayés	Peu sensible Sensible	Limitée	Faible
Tassement sur tailles chassantes remblayées	Peu sensible	Limitée	Faible
Tassement lié aux dépôts	Peu sensible	Limitée	Faible

**Illustration 40 : Récapitulatif des aléas retenus**



## 6 BIBLIOGRAPHIE

### 6.1 Documents de référence

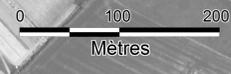
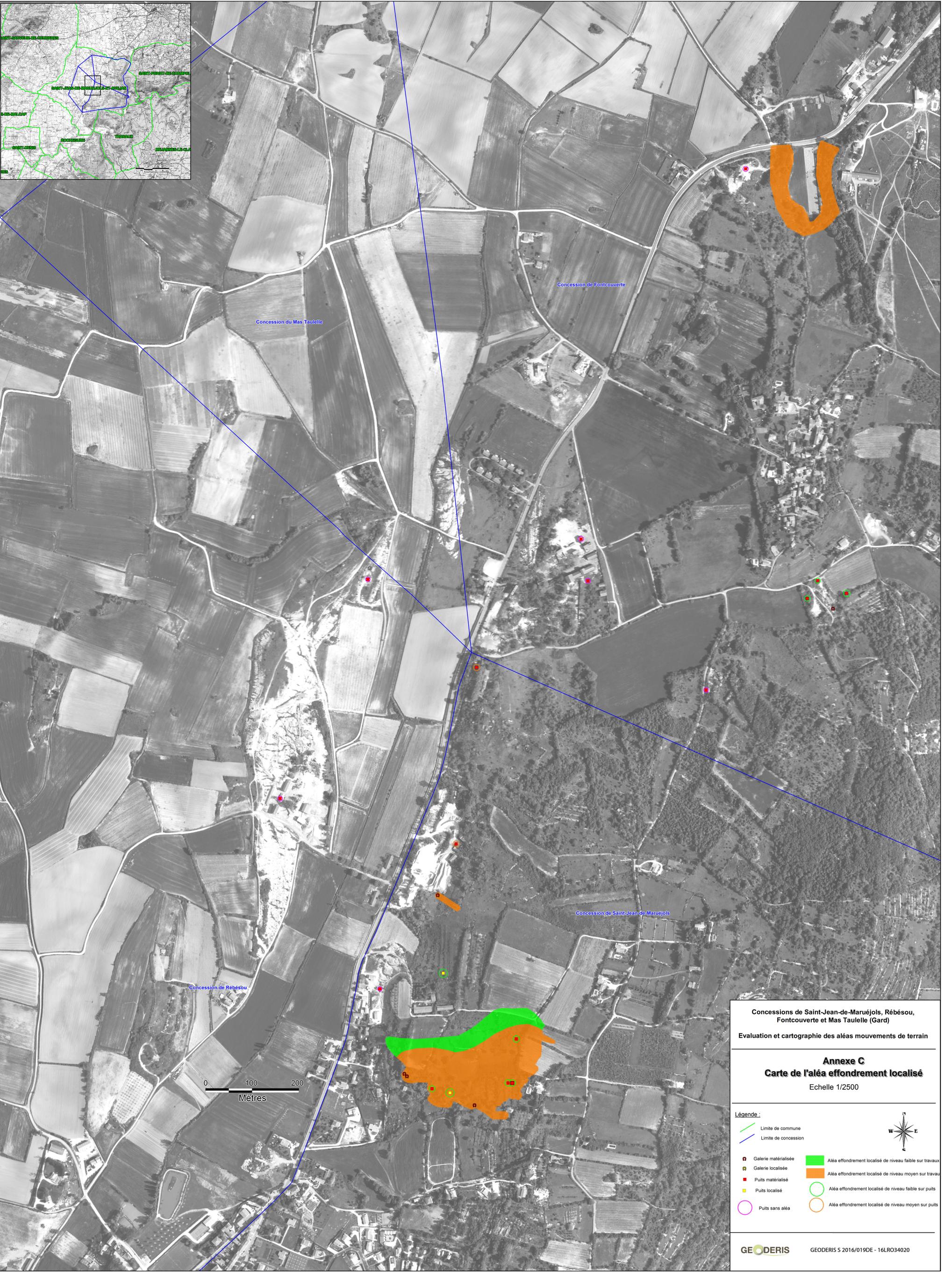
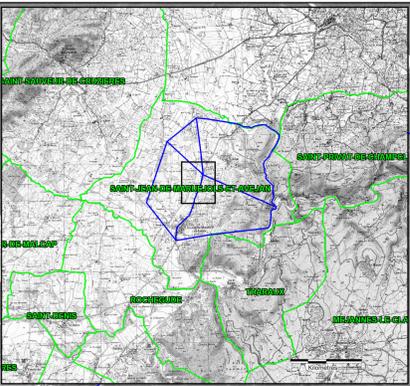
- [1] « L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers – Guide Méthodologique – Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa – Les risques de mouvements de terrain, d'inondations et d'émissions de gaz de mine », document INERIS référencé INERIS-DRS-06-51198/R01 ;
- [2] « Guide pratique pour l'homogénéisation des études détaillées des aléas miniers Volet « effondrement localisé », document GEODERIS référencé N2012/010DE – 12NET2210 ;
- [3] « Nouvelles consignes de cartographie de l'aléa effondrement localisé sur travaux avérés et travaux supposés », document GEODERIS référencé N2012/016DI – 12NAT2210.
- [4] DADT des mines de calcaire asphaltique des concessions de Rébésou et Saint-Jean de Maruéjols, SFA. Dossier et rapports de recollements
- [5] DADT des mines de calcaire asphaltique des concessions de Fontcouverte et Mas-Taulelle.
- [6] DADT des mines de calcaire asphaltique des concessions de Fontcouverte et Mas-Taulelle, puits Alexandre, Station de pompage et travaux afférents.

### 6.2 Principaux documents d'archive

- [1] JOSIEN J.P. (1995). Mine de calcaire asphaltique d'Avéjan. Examen des conséquences sur l'environnement de l'arrêt des travaux. Rapport INERIS, référencé 26EB83R01 de septembre 1995 pour le compte de SMAC ACIEROID.
- [2] JOSIEN J.P. (1995). Mine de calcaire asphaltique d'Avéjan. Stabilité à long terme et risques de fontis des zones Avéjan et Alexandre. Rapport INERIS, référencé 26EB83R02 de décembre 1995 pour le compte de SMAC ACIEROID.
- [3] PROUST (1964). Etude sur les affaissements miniers dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Revue de l'Industrie Minérale, juin-juillet 1964, 46, n° 6 et 7, 68.
- [4] Compte rendu du suivi des travaux de mise en sécurité des puits et du quartier d'Avéjan de la mine de calcaire asphaltique d'Avéjan (Gard). Rapport INERIS, référencé DRS-01-25810/R04 de mars 2001 pour le compte de SMAC ACIEROID.
- [5] Bangoy, L., Banton, O. (1996). « Hydrogéologie. Multiscience environnementale ». Editions AUPELF-UREF, 472 p.
- [6] Castany, G. (1982). « Hydrogéologie. Principes et méthodes ». Editions Dunod, Paris, 238 p.
- [7] Daupey X. (2002). « Etude de l'impact sur le milieu naturel de la modification et de l'arrêt de l'exhaure de la mine de calcaire asphaltique d'Avéjan (Gard) SMAC-ACIEROID ». Rapport INERIS DRS-00-25810/R02bis, octobre 2002, 12 p. + ann.
- [8] Diluca, C. (1974). « Carte hydrogéologique de la région des garrigues. » Edition CERGA, juin 1974, 45 p. + ann.

- [9] Jost A. (2001). « Etude des paléo-circulations de fluides de la bordure cévenole à l'Eocène, engendrées par l'orogénèse pyrénéenne, potentiellement responsables des minéralisations de type Mississippi Valley. » DEA Hydrologie et Hydrogéologie quantitatives, UPMC-EMP-ENGREF, Paris, septembre 2001, 51 p.
- [10] Orengo, R. (1995). Etude hydrogéologique concernant les exploitations minières de calcaires asphaltiques de la SMAC à Avéjan (30). Rapport INERIS 26EB83, août 1995.
- [11] Orengo R. (1995). « Note hydrogéologique. 1e partie. Observations effectuées dans la mine de la SFA lors des prélèvements d'eaux pour analyses, et conclusions pouvant être tirées de l'examen des résultats apportés par les paramètres physicochimiques mesurés ». Rapport, novembre 1995, 14 p. + ann.
- [12] Orengo (1996). « Etude de synthèse des données bibliographiques d'après les documents qui nous ont été confiés par la SFA, et les observations effectuées dans la mine et sur le terrain, en vue d'en tirer des conclusions hydrogéologiques, pouvant en être déduites ». Rapport, mars 1996, 23 p. + ann.
- [13] INERIS DRS-10-99386-01356A d'avril 2010 : Puits Alexandre, Incliné, Station de pompage et travaux afférents. Analyse des risques résiduels.
- [14] Cauvin.L (2011). « mémoire de récolement des travaux exécutés conformément au DADT et à l'article 4 de l'AP n°2010-0008 ». Rapport INERIS-DRS-11-119698-00872A du 31/05/2011.
- [15] Gombert.P (2014). « Suivi des mouvements de terrain en surface au cours du pompage d'essai de l'aquifère minier de l'ancien site d'extraction de calcaires asphaltiques de St-Jean-de-Maruéjols-et-Avejan (Gard) ». Rapport INERIS-DRS-14-135845-08693A du 19/12/2014.





**Concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols, Rébésou, Fontcouverte et Mas Taulelle (Gard)**  
**Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain**

---

**Annexe C**  
**Carte de l'aléa effondrement localisé**  
 Echelle 1/2500

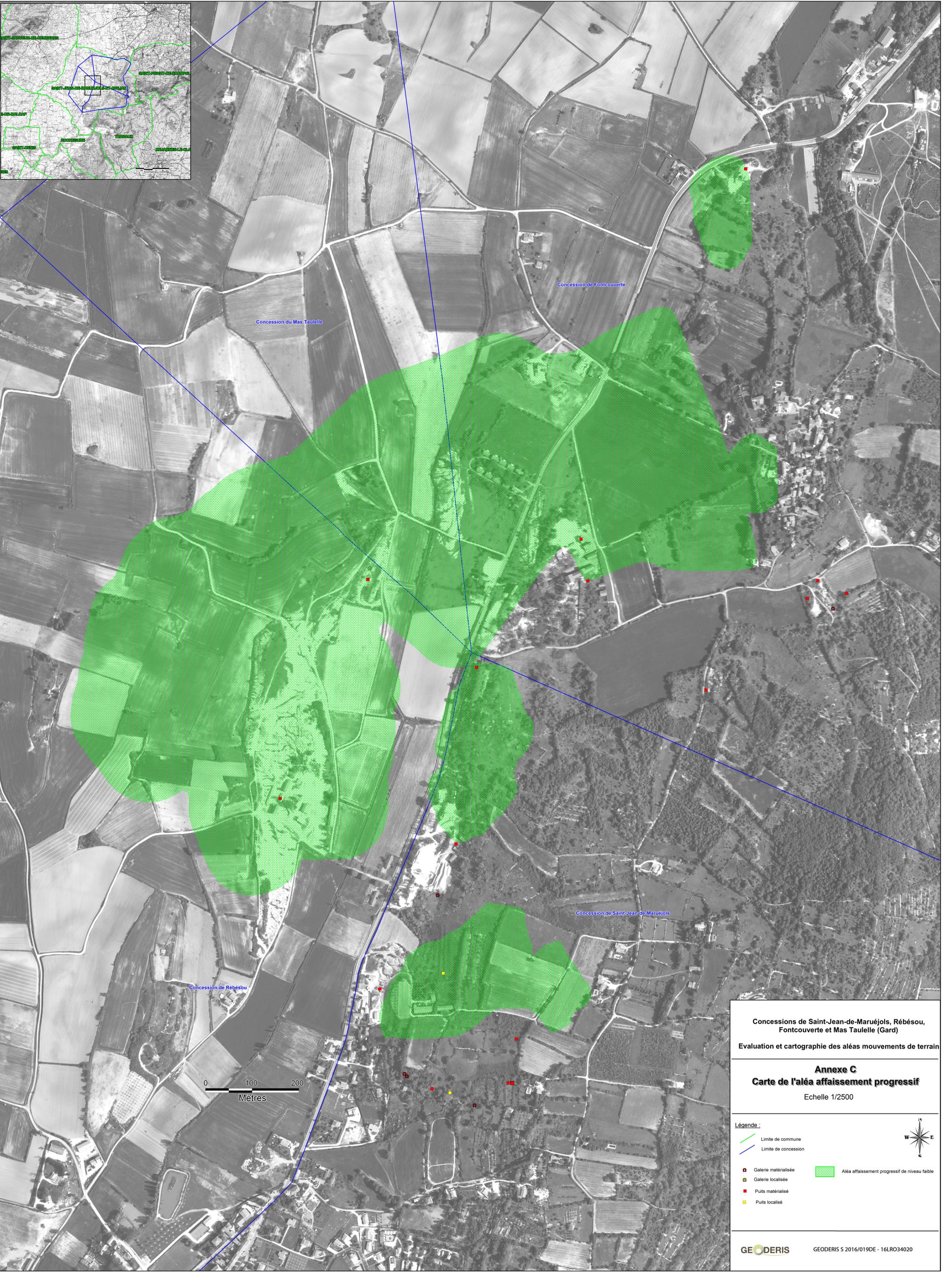
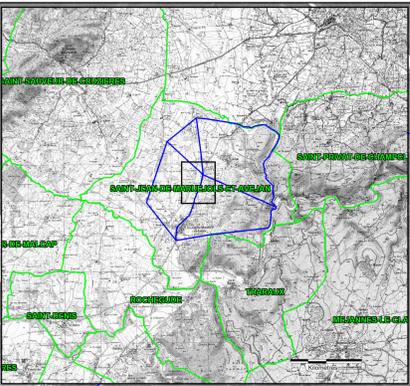
---

**Légende :**

Limite de commune	Aléa effondrement localisé de niveau faible sur travaux
Limite de concession	Aléa effondrement localisé de niveau moyen sur travaux
Galerie matérialisée	Aléa effondrement localisé de niveau faible sur puits
Galerie localisée	Aléa effondrement localisé de niveau moyen sur puits
Puits matérialisé	
Puits localisé	
Puits sans aléa	

---

**GEODERIS**      GEODERIS S 2016/019DE - 16LR034020



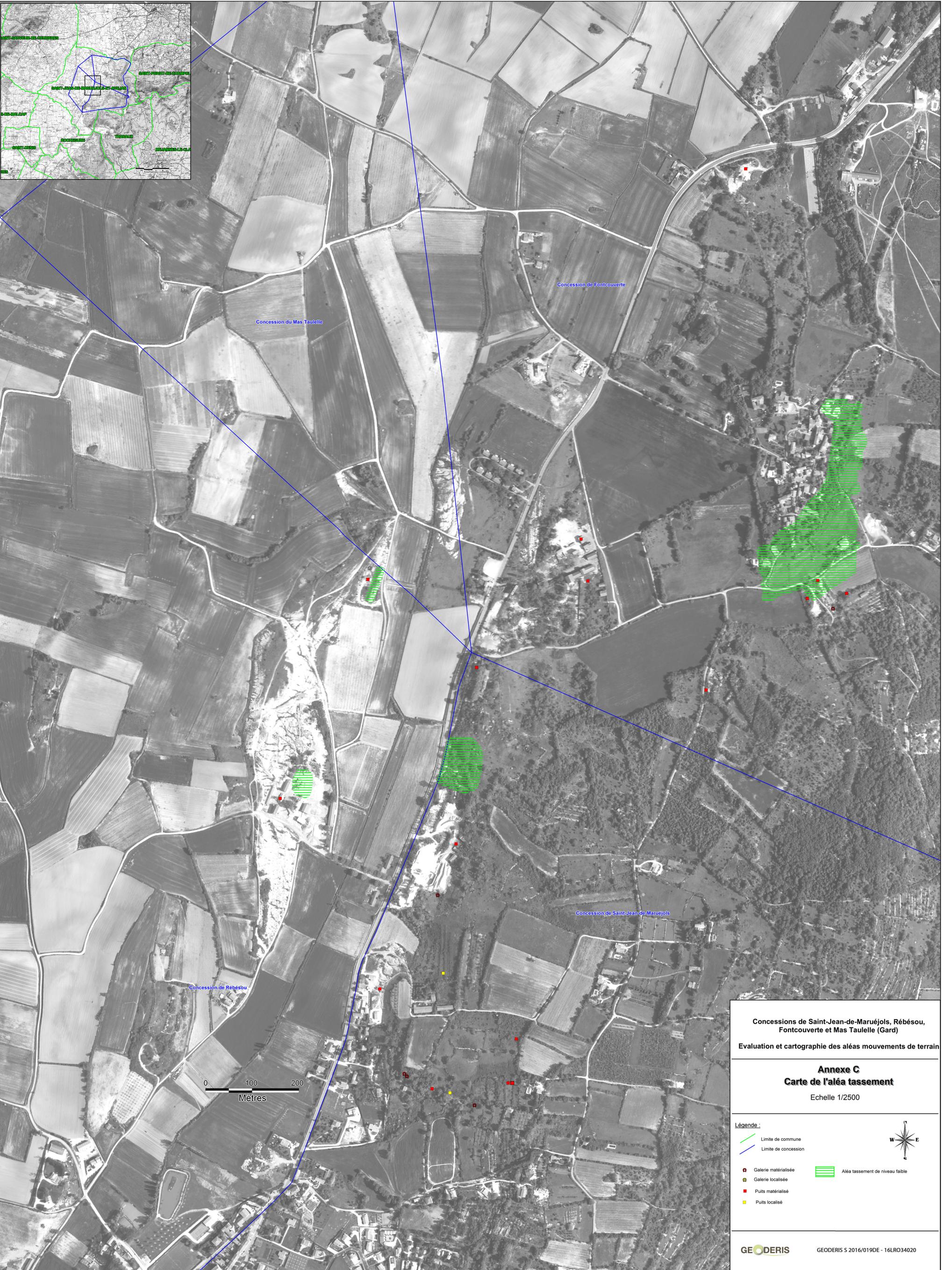
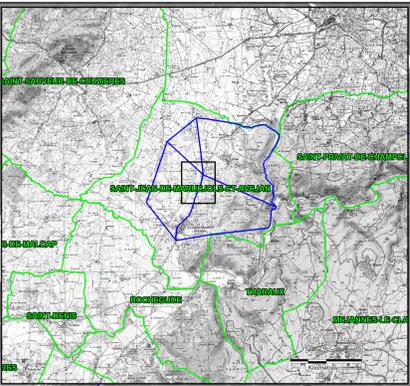
Concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols, Rébésou, Fontcouverte et Mas Taulelle (Gard)  
Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain

**Annexe C**  
**Carte de l'aléa affaissement progressif**  
Echelle 1/2500

**Légende :**

- Limite de commune
- Limite de concession
- Galerie matérialisée
- Galerie localisée
- Puits matérialisé
- Puits localisé
- Aléa affaissement progressif de niveau faible

GEODERIS GEODERIS S 2016/019DE - 16LRO34020



Concessions de Saint-Jean-de-Maruéjols, Rébésou, Fontcouverte et Mas Tauelle (Gard)  
Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain

**Annexe C**  
**Carte de l'aléa tassement**  
Echelle 1/2500

**Légende :**

- Limite de commune
- Limite de concession
- Galerie matérialisée
- Galerie localisée
- Puits matérialisé
- Puits localisé
- ▨ Aléa tassement de niveau faible



GEODERIS GEODERIS S 2016/019DE - 16LRO34020