

## ANNEXE 3

### Rapports INERIS

- ✓ *INERIS DRS-02-37673/R02*
- ✓ *INERIS-DRS-02-37673/R03*
- ✓ *INERIS DRS-04-59370/R01*

*(hors texte)*



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

## **Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault)**

Synthèse de la phase informative en vue de la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers

GEODERIS

*X. DAUPLEY, C. LOISEAU*  
*Direction des Risques du Sol et du Sous-sol*

28 novembre 2002


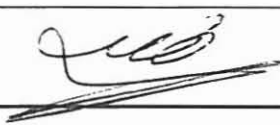
# Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault)

Synthèse de la phase informative en vue  
de la réalisation d'un Plan de Prévention  
des Risques Miniers

GEODERIS

28 NOVEMBRE 2002

Ce document comporte 23 pages (hors couverture, figures et annexe).

	Rédaction	Vérification et Approbation
<b>NOM</b>	X. DAUPLEY	M. GHOREYCHI
<b>Qualité</b>	Ingénieur à l'Unité Modélisation et Evaluation des Risques Géotechniques à la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol	Directeur adjoint des Risques du Sol et du Sous-sol
<b>Visa</b>		

## TABLE DES MATIERES

<b>1. OBJET ET CONTEXTE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. CONTEXTES.....</b>	<b>3</b>
2.1 LOCALISATION.....	3
2.2 GÉOLOGIE.....	4
<b>3. EXPLOITATION SOUTERRAINE .....</b>	<b>6</b>
3.1 DESCRIPTION .....	6
3.1.1 <i>Historique général</i> .....	6
3.1.2 <i>Mine des Malines</i> .....	6
3.1.2.1 Secteur Vieille Mine.....	7
3.1.2.1.1 Vieille Mine sensu stricto (s.s.).....	7
3.1.2.1.2 Pomegues-Ratonnau et Albys-Espérance.....	9
3.1.2.2 Secteur Montdardier.....	10
3.1.2.2.1 Montdardier Nord et Sud.....	10
3.1.2.2.2 La Gardie.....	12
3.1.2.2.3 Chantier ou Recherche 102.....	12
3.1.2.3 Secteur La Sanguinède.....	12
3.1.2.3.1 Sanguinède-Les Beaumettes.....	12
3.1.2.3.2 Sanguinède Sud (Les Boissières).....	13
3.1.3 <i>Cas des exploitations isolées anciennes</i> .....	13
3.1.3.1 Exploitations Pb-Zn.....	13
3.1.4 <i>Cas des exploitations autres que Pb-Zn</i> .....	14
3.2 OUVRAGES DÉBOUCHANT AU JOUR.....	15
3.2.1 <i>Méthodes de traitement</i> .....	15
3.2.2 <i>Carte informative</i> .....	15
3.3 REMARQUE GÉNÉRALE SUR LES DÉSORDRES EN SURFACE.....	16
3.4 ÉLÉMENTS RELATIFS AU GAZ DE MINE.....	16
<b>4. LA DIGUE À STÉRILE .....</b>	<b>16</b>
4.1 DESCRIPTION .....	16
<b>5. EXHAURE MINIÈRE .....</b>	<b>18</b>
5.1 SITUATION HYDROGÉOLOGIQUE ACTUELLE.....	18
5.2 QUALITÉ DES EAUX D'EXHAURE ET DES EAUX SUPERFICIELLES.....	19
<b>6. LISTE DES RÉFÉRENCES .....</b>	<b>21</b>
<b>7. LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>23</b>



## 1. OBJET ET CONTEXTE

---

La société METALEUROP S.A. est titulaire de trois concessions minières (Les Malines, Anjeau et Saint-Julien-de-la-Nef) situées à 45 km à l'WNW de Nîmes, à cheval sur les départements du Gard et de l'Hérault. Elle a engagé le processus de renonciation à ces concessions et a déposé son dossier d'arrêt des travaux miniers souterrains. Celui-ci est instruit actuellement par la DRIRE Languedoc Roussillon.

Sans attendre la fin de ce processus, la DRIRE Languedoc Roussillon souhaite qu'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM) soit établi sur ce site et a demandé à GEOGERIS, qui a sollicité l'INERIS, un avis préliminaire relatif à ce PPRM et la réalisation des études préalables à la finalisation de celui-ci.

Un premier document a été établi en décembre 2001 (réf. INERIS-DRS-01-37673/R01 du 20 décembre 2001). Il a permis de faire le point des données existantes utiles à la réalisation du PPRM et de préciser la nature des risques qu'il conviendra de prendre en compte pour le PPRM ainsi que le périmètre sur lequel il doit porter.

Le périmètre proposé pour l'établissement du PPRM est celui des trois concessions minières dont METALEUROP est titulaire.

En ce qui concerne les risques à prendre en considération, nous avons proposé à GEODERIS, à partir de l'analyse effectuée à l'occasion du précédent rapport, de retenir, et cela uniquement pour les exploitations de plomb-zinc :

- le risque de mouvements de terrain liés aux exploitations souterraines ;
- le risque lié au gaz de mine ;
- le risque lié aux eaux d'exhaure ;
- les risques liés au dépôt de stériles de la mine des Malines.

Ce présent rapport synthétise l'ensemble des informations disponibles et observations de terrain nécessaires à la réalisation du PPRM. Ce document comprend une carte informative à l'échelle de 1/5000<sup>ème</sup> présentée en annexe 1.

## 2. CONTEXTES

---

### 2.1 LOCALISATION

Les concessions détenues par la société METALEUROP sont :

- la concession des Malines ;
- la concession d'Anjeau ;
- la concession de Saint-Julien-de-la-Nef.

Ces trois concessions sont jointives et situées à cheval sur les deux départements de l'Hérault et du Gard, à l'extrême Ouest de ce dernier, à quelques kilomètres respectivement au Sud et l'Ouest du Vigan et de Ganges (figure 1). Les communes concernées par ces trois concessions sont les suivantes : Saint-Laurent-le-Minier, Saint-Bresson, Saint-Julien-de-la-Nef, Pommiers, Montdardier, Rogues dans le Gard, et Gorniès dans l'Hérault.

On distinguera dans ce qui suit :

- le district des Malines, qui correspond globalement aux trois concessions susnommées. On notera que la concession de Saint-Julien de la Nef ne révèle, d'après l'ensemble de la documentation consultée, a priori, aucun indice d'exploitation minière de plomb-zinc ;
- la mine des Malines sensu stricto, qui se situe entre les villages de Montdardier et de Saint-Laurent-le-Minier. Elle correspond à l'exploitation réalisée durant l'époque dite « moderne » (19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècles) par plusieurs compagnies successives dont la dernière est METALEUROP. La figure 2 localise approximativement l'emprise des travaux miniers de la mine des Malines. L'ensemble de ces zones d'exploitation minière est inclus dans les concessions des Malines et d'Anjeau et concerne les communes de Saint-Laurent-le-Minier, Pommiers, Montdardier et Gorniès.

Cette région de transition entre les Cévennes et les Causses présente des reliefs prononcés marqués notamment par la barre rocheuse allant du Pic d'Anjeau aux Rochers de la Tude et culminant à près de 900 m NGF.

Trois cours d'eau drainent le secteur concerné par les exploitations de plomb-zinc du district des Malines :

- la Glèpe qui s'écoule vers le Nord et rejoint près du Vigan la rivière de l'Arre ;
- la Crenze et le Gasson qui sont affluents de la Vis.

La Vis et l'Arre sont toutes deux affluents de l'Hérault.

La Crenze, à l'entrée de Saint-Laurent-le-Minier, constitue le point bas du secteur à une altitude de l'ordre de 200 m NGF.

## 2.2 GEOLOGIE

Le district des Malines est situé au Sud-Est du Massif Central dans un secteur où les formations paléozoïques du horst de Saint-Bresson sont recouvertes par le Mésozoïque de la bordure sous-cévenole constitué par les marnes du Trias et les puissantes formations calcaires jurassiques. On trouvera en figure 3 une carte géologique détaillée de la région des Malines. Sur celle-ci sont localisées 6 coupes géologiques présentées sur les figures suivantes 4, 5 et 6. Ces dernières permettent d'apprécier la grande variété géologique des minéralisations :

- en lentilles stratoïdes dans les calcschistes cambriens (voir coupe 6, figure 6, secteur Sanguinède) ;
- en amas enfouis dans la dolomie cambrienne, probablement liés à des cavités de dissolution (paléokarst) (voir coupe 4, figure 5, quartier Petralba, secteur Vieille Mine) ;
- en couches stratiformes au sein des marnes et conglomérats triasiques (voir coupe 4, figure 5, quartier Fontbonne et Pomegues) ;

- en lentilles d'une dizaine de mètres de puissance dans les dolomies du Bathonien (voir coupe 4, figure 5, secteur Vieille Mine). C'est dans les horizons proches de la surface (voir coupe 1, figure 4) que la minéralisation a d'abord été observée et exploitée.

Les travaux miniers se sont développés dans les trois horizons nommés précédemment (Bathonien, Trias, Socle cambrien) avec une extension plus marquée dans le socle.

D'un point de vue structural, la carte géologique présentée en figure 3 positionne les failles majeures du secteur. Deux directions principales peuvent être observées, N-S à NE-SW pour la première et E-W pour la seconde. Elles correspondent à la tectonique cassante tardi-hercycienne. Au cours du Trias, puis lors du Mésozoïque et du Tertiaire, plusieurs épisodes distensifs et compressifs ont fait rejouer les accidents préexistants et générer d'autres failles de moindre importance, d'orientation NNE-SSW à NE-SW, notamment au Trias. Les failles majeures principales sont les suivantes :

- les failles de Montdardier et des Avinières, d'orientation N-S à NE-SW ;
- la faille des Malines à pendage nord et d'orientation globalement E-W.

Ces trois failles, à rejet supérieur à 50 m, individualisent le horst de Saint-Bresson.

Nous avons reporté sur la carte informative à l'échelle de 1/5000<sup>ème</sup>, présentée en annexe 1, les caractéristiques géologiques suivantes :

- la faille des Malines. Il s'agit du trait structural majeur du secteur d'exploitation des Malines. Elle individualise la bordure sud du horst de Saint-Bresson et met en contact les formations cambriennes et les marnes du Trias avec les calcaires et dolomies du Jurassique ;
- les zones d'affleurement des marnes du Trias. Ces formations sont cartographiées en jaune sur le plan. Elles sont largement représentées, au Nord de la faille des Malines dans le secteur de Montdardier et au Sud de la Sanguinède. Pour garder une bonne lisibilité de la carte informative, nous n'avons pas reporté les zones d'affleurement des autres formations. On retiendra qu'au Nord de la faille des Malines, depuis le Pic d'Anjeau jusqu'à Montdardier, les terrains affleurants, autres que ceux des marnes du Trias, sont constitués uniquement de formations dolomitiques, gréseuses et de calcschistes du Cambrien appartenant au horst de Saint-Bresson. Au sud de la faille des Malines, mais également à l'Ouest de Montdardier et à l'Est de Saint-Laurent-le-Minier, affleurent les puissantes formations calcaires et dolomitiques du Jurassique moyen et supérieur (voir figure 3).

Cette cartographie géologique simplifiée permet de dissocier, en premier approche, en la superposant aux travaux miniers souterrains, deux configurations principales : les travaux souterrains ayant un recouvrement jugé plutôt peu compétent (i.e. les marnes du Trias) de ceux possédant un recouvrement jugé compétent (i.e. les formations cambriennes et jurassiques).

Ces caractéristiques géologiques et structurales proviennent de documents présentés dans le mémoire d'arrêt de la société METALEUROP (cartes géologique et structurale de la région des Malines) non géoréférencés. Le positionnement exact de ces structures sur le fond topographique ne peut donc pas être garanti. Par recoupement avec les plans d'exploitation et structuraux, nous estimons leur erreur de positionnement à une vingtaine de mètres environ.

## 3. EXPLOITATION SOUTERRAINE

---

### 3.1 DESCRIPTION

#### 3.1.1 Historique général

D'après les historiens, les premiers indices de l'activité minière remonteraient à la période gallo-romaine.

Dans ce qui suit, nous synthétisons les descriptions détaillées de l'exploitation de la mine des Malines du dossier d'arrêt de METALEUROP. Cette exploitation a débuté dans les années 1880 et s'est poursuivie jusqu'en 1991. Nous donnons également l'ensemble des éléments connus sur les indices d'exploitation de Pb-Zn, autres que ceux détaillés dans le dossier METALEUROP. Les travaux d'exploitation d'autres substances sont mentionnées et localisées, tant que faire ce peut, dans ce présent document. Comme cela a été précisé dans le précédent rapport (référéncé INERIS DRS-01-37673/R01), ces travaux ne sont pas pris en compte dans le cadre de cette étude, dans la mesure où ils ne se situent pas dans le périmètre des exploitations de Pb-Zn.

Tant que faire ce peut, pour chaque secteur d'exploitation, nous donnons :

- les dates ou périodes d'exploitation ;
- l'organisation du gisement, la profondeur des travaux et la nature des terrains de recouvrement ;
- la ou les méthodes d'exploitations mises en œuvre ;
- les données géotechniques de toute nature ;
- les informations relatives aux effets en surface du sol éventuellement constatés.

#### 3.1.2 Mine des Malines

Les travaux miniers de la mine des Malines représentent à eux seuls la quasi-totalité de l'exploitation souterraine à l'intérieur du périmètre des trois concessions. Il s'agit des travaux réalisés depuis la découverte du gisement des Malines en 1880 jusqu'à l'arrêt définitif de l'activité minière par METALEUROP en 1991.

La figure 7 permet de visualiser de façon synthétique à une échelle adaptée (1/10000<sup>ème</sup>) les secteurs et quartiers d'exploitation relatifs à cette période.

Le positionnement de ces travaux miniers souterrains sur la carte informative présentée en annexe 1 (plan topographique à l'échelle de 1/5000<sup>ème</sup>) a été réalisé à partir du plan d'ensemble géoréférencé à l'échelle de 1/5000<sup>ème</sup> présenté par METALEUROP dans son dossier d'arrêt [1]. Pour ce faire, le plan d'origine, fourni sur support papier, a dû être scanné puis calé sur le fond topographique ce qui induit inévitablement une incertitude de positionnement. Celle-ci semble cependant réduite et est estimée à une dizaine de mètres.

Les ouvrages débouchant au jour correspondant à ces travaux ont été positionnés à partir des plans de positionnement présentés dans le dossier d'arrêt pour chaque secteur (plan à l'échelle de 1/2500<sup>ème</sup> [3]). Nous estimons l'incertitude de positionnement de ces ouvrages à une dizaine de mètres également.

En plus des travaux miniers et des ouvrages débouchant au jour, les informations complémentaires suivantes concernant les travaux souterrains ont été reportées sur la carte informative :

- l'enveloppe des travaux. Elle inclut également les galeries d'accès et les orifices situés en dehors des zones de travaux proprement dites ;
- les zones de travaux situées à moins de 50 m (en rouge), entre 50 et 100 m (en rose) ;
- les zones de travaux où le remblayage a été effectué sur toute la hauteur exploitée (en vert).

### 3.1.2.1 Secteur Vieille Mine

L'exploitation de Pb-Zn de la mine des Malines a débuté par le secteur Vieille Mine après la découverte du gisement en 1880. On distingue (figure 7), à l'Ouest du secteur, le sous-secteur Vieille Mine sensu stricto (s.s), à l'Est, les sous-secteurs Pomegues-Ratonnau, Florence, les Albys et Espérance.

Les plans d'exploitation de ce secteur, fournis par METALEUROP, sont très difficiles à analyser. Pour le sous-secteur Vieille Mine (s.s) comprenant notamment les quartiers principaux Anrée et Fernand, aucune indication de cote des travaux n'est mentionnée et certains travaux (les plus anciens réalisés dans le Bathonien) ne sont signalés que par leur périmètre. Ces remarques sont également valables, dans une moindre mesure (il existe quelques cotes), pour les sous-secteurs situés à l'Est de Vieille-Mine (s.s).

En l'absence d'indication de cotes, la profondeur des travaux a été calculée indirectement de la façon suivante :

- nous nous sommes appuyés sur la carte des isovaleurs de la cote du toit des marnes triasiques qui existe pour tout le secteur de Vieille Mine ([1], [15]) ;
- sachant que les travaux d'exploitation les plus superficiels correspondent à ceux réalisés dans le Bathonien et qu'ils se situent au maximum à 30 m au-dessus du toit des marnes, la cote des travaux les plus superficiels a été obtenue en augmentant de 30 m la cote du toit des marnes ;
- cette carte a ensuite été croisée avec la topographie pour obtenir la profondeur des travaux d'exploitation.

Cette méthode de calcul contribue à sous estimer les profondeurs de travaux là où il n'y a pas ou peu d'exploitation dans le Bathonien notamment dans la partie est du secteur Vieille Mine. Il est toutefois difficile de dissocier la limite d'exploitation du Bathonien entre les parties est et ouest du secteur Vieille Mine. On ne peut pas non plus exclure totalement l'existence de travaux non répertoriés dans le Bathonien dans la partie est. Il semble d'ailleurs que ce soit le cas des travaux situés les plus à l'Est du secteur (au lieu dit Font Bonne), compte tenu de leur localisation et de leur profondeur.

#### 3.1.2.1.1 Vieille Mine sensu stricto (s.s.)

Les travaux de cette zone s'étendent, depuis la faille des Malines au Nord, sur 900 m environ vers le Sud-Ouest, et, d'Est en Ouest, sur 700 m au maximum. On rajoutera, dans le prolongement ouest de cette zone, les travaux de La Tude qui se terminent vers l'Ouest et le Sud-Ouest par des galeries de recherches.



Il s'agit de travaux anciens qui ont débuté par la découverte et l'exploitation, d'abord des gisements du Bathonien à partir de 1880 puis de ceux du socle dolomitique, à l'interface entre ce dernier et les marnes triasiques. Jusque dans les années 1930, l'activité minière s'est concentrée principalement dans les gisements du Bathonien. A partir de 1947, elle s'est déroulée dans cette zone uniquement dans les minéralisations du socle.

#### Travaux dans le Bathonien

Il n'existe pas de plans des travaux du Bathonien. Seul leur périmètre est indiqué sur les plans d'exploitation. Les informations les plus précises proviennent la thèse de G. Leguen [17] mais sont essentiellement d'ordre géologique. On retiendra cependant que :

- il s'agit d'amas stratiformes s'organisant en chapelets depuis la faille des Malines en direction du Sud-Ouest. Ils ont une puissance moyenne de l'ordre de 10 m (maximum 30 m localement) et ont des dimensions de 80 m × 150 m environ ;
- les terrains encaissants et de recouvrement sont constitués exclusivement par les calcaires dolomitiques du Bathonien. A l'exception d'une frange d'une cinquantaine de mètres de large au contact de la faille des Malines où l'épaisseur du recouvrement est inférieure à 100 m, l'essentiel de ces travaux possède un recouvrement variant de 200 m à près de 400 m ;
- le dossier de METALEUROP indique que les secteurs d'exploitation les plus anciens, dont font parti ceux dans le Bathonien, ont été exploités par tranches horizontales montantes avec remblayage complet. On notera cependant qu'il est mentionné par ailleurs que tous les travaux, à l'exception de ceux situés sous le village de Montdardier, ont été remblayés en laissant une ouverture résiduelle de 3 m. On retiendra cette dernière option pour les exploitations du Bathonien.

#### Travaux dans le socle

Il s'agit des travaux d'exploitation des amas karstiques présents au sommet de la formation des dolomies du Cambrien à l'interface avec les marnes triasiques.

Ils se localisent principalement en périphérie des travaux dans le Bathonien (amas Fernand par exemple) et localement les sous-minent. Ils s'organisent en chapelets le long de fractures NNE-SSW à N-S.

Les plans de mine, peu précis dans cette zone, montrent une extension des travaux assez importante. Il s'agit en fait de la juxtaposition de petites zones d'extension limitée, de dimensions 50 × 80 m au maximum, reliées par des galeries. Si l'on s'en tient aux coupes géologiques, on peut estimer la hauteur exploitée au maximum entre 40 et 50 m.

La méthode d'exploitation qui semble avoir été adoptée pour l'ensemble de ces travaux est celle des chambres et piliers abandonnés. Dans les zones où les plans sont suffisamment précis, on calcule un taux de défruitement de l'ordre de 70 %. On fera la même remarque que les travaux dans le Bathonien sur le remblayage, en considérant qu'il reste une ouverture résiduelle de 3 m.

On notera enfin que ces travaux possèdent une hauteur de recouvrement partout supérieure à 100 m et pour l'essentiel d'entre eux, comme pour les travaux dans le Bathonien, de 200 à 400 m. Les terrains de recouvrement sont constitués principalement par les calcaires dolomitiques du Bathonien et localement par les marnes du Trias puis le Bathonien, ces derniers étant dans tous les cas beaucoup plus épais que les marnes (voir figure 5).

### 3.1.2.1.2 Pomegues-Ratonnau et Albys-Espérance

Ces travaux situés à l'Est du secteur Vieille Mine s'étendent sur un peu plus d'un kilomètre depuis la faille de Malines au Nord en direction du Sud-Ouest et d'Est en Ouest sur 700 m au maximum.

Ces travaux ont été entrepris à partir de 1947. L'exploitation dans cette zone s'est déroulée, pour l'essentiel, jusqu'au début des années 1970 et s'est poursuivie au-delà de cette période uniquement dans le quartier Espérance, a priori, jusqu'à l'arrêt total de l'exploitation aux Malines en 1991.

#### Travaux de Pomegues-Ratonnau, Espérance et Florence

On distingue à l'Ouest de cette zone, les gisements exploités dans le socle dolomitique. Il s'agit de gisements, d'imprégnation karstiques à l'interface avec les marnes du Trias pour les secteurs de Pomegues, Ratonnau et Espérance et, fissural, pour Florence (voir coupes 3 et 4 en figure 5).

Pour les gisements karstiques de Pomegues et Ratonnau, le dossier d'arrêt de METALEUROP mentionne la mise en œuvre uniquement de la méthode d'exploitation par tranches horizontales montantes remblayées. Il semble cependant, d'après les plans d'exploitation que la méthode des chambres et piliers abandonnés ait été aussi employée. Le taux de défrèvement dans les secteurs chambres et piliers est estimé, d'après les plans, entre 70 et localement 80 %, le schéma de dimensionnement n'étant pas régulier. Par recoupement avec des exploitations similaires plus détaillées dans le dossier d'arrêt (quartier Espérance notamment), on peut estimer l'épaisseur du gisement exploité à 10 m en moyenne. Le quartier Ratonnau possède un recouvrement de faible épaisseur de l'ordre ou inférieure à 50 m composée presque exclusivement des marnes du Trias. Le quartier Pomegues, quant à lieu, possède un recouvrement de l'ordre ou supérieur à 100 m d'épaisseur constitué à part égal des marnes du Trias puis du Bathonien.

Le quartier Espérance est le dernier exploité sur l'ensemble du secteur Vieille-Mine. La méthode mise en œuvre est celle des chambres et piliers abandonnés remblayés, sur une hauteur moyenne de 10 m, la dernière tranche de 3 m restant a priori ouverte. Le taux de défrèvement est de l'ordre de 75 %. On distingue deux panneaux contigus de 100 m × 100 m et 50 m × 100 m. Ils possèdent un recouvrement de l'ordre de 300 m d'épaisseur essentiellement constitué de calcaires et calcaires dolomitiques du Bathonien.

Le quartier Florence, situé à l'Ouest de celui d'Espérance, correspond à l'exploitation de minéralisations fissurales associées à un jeu de failles NE-SW affectant le socle et les marnes du Trias et scellées par le Bathonien (voir coupe 3, figure 5). La méthode d'exploitation mise en œuvre pour la quasi-totalité de ce quartier a consisté en une combinaison de chambres et piliers et de « sublevel stopping » : après le découpage de l'amas par un certain nombre de niveaux distants de 6 à 10 m, chaque niveau était exploité par chambres et piliers, les piliers coïncidant d'un niveau à l'autre. On procédait ensuite à l'abattage des solettes entre niveaux en respectant les piliers. Les hauteurs exploitées atteignaient une cinquantaine de mètres. Le remblayage s'effectuait par culbutage. Localement, à la base du gisement, une seconde méthode par soutirage a été tentée, sans résultats probants, à partir d'une cheminée centrale reliant deux niveaux séparés de 40 m. Les chantiers exploités se répartissent en bandes parallèles juxtaposées de 50 m de large au maximum sur une centaine de mètres de longueur. L'ensemble de la zone représente un quartier de 200 m de large au maximum pour une longueur n'excédant pas 300 m. Le recouvrement minimum de ces travaux est de l'ordre ou supérieur à 300 m.



### Travaux d'Albys-Fontbonne

Ces travaux, situés à l'extrême est du secteur Vieille Mine, correspondent pour l'essentiel à l'exploitation des gisements en couches dans les marnes du Trias et localement de gisements karstiques dans le socle. L'ensemble de la zone exploitée s'étend d'Est en Ouest sur 300 m et du Nord au Sud sur 500 m au maximum. Les plans d'exploitation sont peu précis et ne mentionnent localement que les contours des zones exploitées et seulement quelques cotes. On retiendra cependant les éléments suivants :

- les travaux en couches dans les marnes du Trias ont été réalisés par chambres et piliers avec remblayage partiel et par tailles remblayées. Les hauteurs moyennes exploitées pour chaque couche étaient de 4 à 5 m, les deux couches étant séparées d'une quinzaine de mètres. Le taux de défrètement des zones exploitées par chambres et piliers est voisin de 75 %. Les panneaux exploités ont des dimensions de 50 m × 100 m en moyenne. D'après les plans, les travaux réalisés dans les deux couches se superposent localement. Le recouvrement minimal de travaux varie de moins de 50 m dans la partie Nord-Ouest de la zone, là où les marnes sont affleurantes, à plus de 200 m et ceci, pour l'essentiel des travaux de cette zone ;
- sous-minant l'ensemble de la zone d'exploitation des deux couches du Trias, on recense les travaux de Petralba qui correspondent à l'exploitation du gisement karstique dans le socle. Ils s'organisent en une bande d'une quinzaine de mètres de large en moyenne sur une longueur de 300 m. Aucune indication sur la méthode d'exploitation mise en œuvre n'est mentionnée pour ces travaux.
- A l'extrême est de la zone à Font Bonne, on notera l'existence de travaux très réduits seulement suggérés par les plans. Les quelques cotes disponibles indiquent qu'il s'agit de travaux à faible profondeur (< 50 m), probablement dans le Bathonien.

#### 3.1.2.2 Secteur Montdardier

Il s'agit, comme pour le secteur Sanguinède décrit ci-après, des gisements découverts et exploités dans les années 1970 et 1980 et jusqu'à l'arrêt de l'exploitation en 1991.

##### 3.1.2.2.1 Montdardier Nord et Sud

L'exploitation principale de ce secteur a concerné le Nord-Est et le Nord du village de Montdardier en deux sous-secteurs : Montdardier Nord au Nord du village et, Sud, au Nord-Est du village (figure 7).

##### Montdardier Sud

La zone d'exploitation de Montdardier Sud s'étend selon un axe NE-SW sur 450 m depuis l'aplomb des remparts du château de Montdardier et sur une largeur moyenne de 200 m. Le gisement a été exploité de 1975 à 1989, d'abord dans la partie la plus éloignée du village, puis aux environs immédiats et sous le village à partir de 1984. Il s'agit d'une lentille minéralisée de 5 à 20 m d'épaisseur en moyenne dans le socle dolomitique Cambrien à l'interface avec les marnes triasques.

L'exploitation s'est effectuée par panneaux de 50 m × 100 m en moyenne par la méthode des chambres et piliers remblayés. Le taux de défrètement est égal à 75 %. Les piliers ont des dimensions relativement constantes de 5 m × 5 m et peuvent avoir des hauteurs de 20 m. Les chambres ont une largeur de 5 m en moyenne. L'abattage dans les chambres était réalisé par tranches de 2,5 m de hauteur en moyenne, le remblayage suivant immédiatement le déblayage du minerai.

Le panneau situé sous le village, de dimensions 70 m × 130 m, est séparé, vers le Nord-Est, des autres travaux par une bande ferme (non exploitée) uniquement recoupée par des galeries d'accès. Son exploitation a été autorisée sous réserve du remblayage complet avec clavage des chambres à l'arrêt de ce traitement devant être appliqué également sur une bande de 100 m au-delà de la bande ferme. Au total, les travaux situés les plus près du village ont été remblayés et clavés sur une bande de 200 m<sup>1</sup>. Ces travaux se situent à une profondeur moyenne de 100 m. La zone à remblayage complet et clavage est figurée en vert sur la carte informative.

Pour les autres panneaux de cette zone, seule la dernière tranche a été laissée ouverte. L'ouverture résiduelle des travaux est de 3 m.

En progressant vers le Nord-Est, le recouvrement diminue d'épaisseur et devient localement inférieur à 50 m (voir annexe 1).

#### Montdardier Nord

L'exploitation de Montdardier Nord correspond à un seul panneau de dimensions 80 m × 170 m. Le dimensionnement de l'exploitation est identique à celui de Montdardier Sud. Seule la profondeur des travaux est en moyenne plus élevée, la moitié du panneau ayant une profondeur supérieure à 100 m.

#### Remarque sur les terrains de recouvrement et les propriétés mécaniques du minéral

Le toit immédiat de l'exploitation et la totalité des terrains de recouvrement sont constitués uniquement par les marnes du Trias. Les piliers sont quant à eux constitués de dolomie minéralisée à faciès grossièrement stratifié ou bréchiq.

Plusieurs campagnes de mesure des caractéristiques mécaniques des matériaux constitutifs des piliers ont été réalisées de 1977 à 1983 [9]. Les résultats des essais réalisés en laboratoire sur des éprouvettes venant de piliers de plusieurs panneaux de l'exploitation mettent en évidence des valeurs des caractéristiques élevées :

- la résistance à la compression simple moyenne sur 158 éprouvettes est de 62 MPa, avec un écart type de 23 MPa ;
- la limite élastique moyenne mesurée sur 66 éprouvettes est supérieure à 35 MPa avec un écart type de l'ordre de 16 MPa.

Les résultats de l'inspection réalisée par M. Duffaut [2b] en 1990 dans les quartiers exploités sous le village indiquent une très bonne tenue des piliers et du toit de l'exploitation. Des mesures de convergence des piliers effectuées durant les dernières années de l'exploitation n'ont pas mis en évidence de mouvements significatifs. Par contre, dans le quartier situé au Nord-Est du village, des chutes du toit marneux sont signalées.

Des mesures de nivellement réalisées durant l'exploitation dans le secteur de Montdardier, débordant largement de l'aplomb des travaux n'ont pas mis en évidence de mouvements significatifs de la surface du sol y compris l'aplomb des zones où des chutes de toit ont été constatés.

---

<sup>1</sup> Dans la mesure où le dossier est en cours d'instruction et que nous n'avons pas eu accès aux PV de récolement, on considèrera que les travaux de remblayage et de clavage ont été effectivement réalisés à la fin de l'exploitation bien qu'aucun élément ne permette de le confirmer dans le dossier d'arrêt. Ces travaux ne sont en effet mentionnés que comme condition nécessaire à l'autorisation d'exploiter cette zone (rapport Duffaut [2b]).

### 3.1.2.2.2 La Gardie

Au Nord des exploitations de Montdardier, de vieux travaux, probablement contemporain du début de l'exploitation aux Malines, ont été recensés à la Gardie. Ces travaux semblent être peu profonds. Nous les avons recensés parmi les travaux situés à moins de 50 m de profondeur. D'après les plans (peu détaillés), les zones de travaux sont peu étendues et semblent correspondre principalement à l'élargissement de galeries de recherches initiales. Le dossier mentionne toutefois la mise en œuvre d'une méthode d'exploitation par chambres et piliers remblayés.

### 3.1.2.2.3 Chantier ou Recherche 102

Le gisement correspond à cet endroit à des minéralisations dans les conglomérats de la base du Trias. Il est situé à mi-chemin entre les travaux de Montdardier et ceux de Vieille Mine et est limité, au Sud, par la faille des Malines, et, au Nord, par une autre faille parallèle à cette dernière et de faible extension.

L'exploitation correspond à un seul panneau d'une centaine de mètres de longueur pour 80 m de largeur, exploité par chambres et piliers remblayés. Les dimensions des piliers varient de 5 à 8 m de côté et celles des chambres de 5 à 6 m. Le taux de défrêtement global est proche de 75 %. La hauteur des chambres exploitées varie de 12 à 30 m. Les trois derniers mètres étant laissés vides.

Le toit des chambres est constitué par 3 à 7 m de conglomérat puis par les marnes du Trias. La hauteur de recouvrement varie du Nord vers le Sud entre 45 et 70 m.

### 3.1.2.3 Secteur La Sanguinède

L'exploitation de Sanguinède se situe au Sud du hameau du même nom et au Nord-Est des zones de travaux de Montdardier.

On distingue l'exploitation récente de Sanguinède-Les Beaumettes, au Nord, de celle de Sanguinède Sud probablement contemporaine du début des travaux miniers aux Malines dont nous ne possédons que très peu d'informations.

#### 3.1.2.3.1 Sanguinède-Les Beaumettes

Ces travaux, réalisés dans les années 1970 à l'arrêt de l'exploitation des Malines s'étendent selon un axe Est-Ouest sur 700 m environ et du Nord au Sud sur 300 m au maximum. Ils ont exploité des gîtes minéralisés en amas et stratoïdes dans les calcschistes du socle Cambrien, seule formation présente dans ce secteur (voir figures 6 et 6 bis).

L'essentiel des travaux se situe à des profondeurs variant de 130 à 180 m. Localement, les travaux à l'Ouest (Les Beaumettes) et à l'Est de la zone se situent à des profondeurs variant entre 50 et 100 m.

L'exploitation a été effectuée selon différentes méthodes nécessitant un remblayage systématique. Là encore, il ne reste ouverts que les chantiers de dernière tranche sur une hauteur de 3 m. Les différentes méthodes mises en œuvre, révélatrices de la complexité du gisement, ont été les suivantes :

- taille en arête de poisson lorsque l'amas a une forme allongée (longueur 50 à 150 m, largeur 5 à 20 et hauteur 10 à 30 m) ;
- tailles grillagées lorsque l'amas est de forme arrondie (50 m × 50 m sur une hauteur de 70 m)

- tranches montantes remblayées localement par taille chassante en gradins renversés ;
- chambres et piliers abandonnés remblayés.

#### Remarques sur les caractéristiques mécaniques des piliers

Une étude de dimensionnement de l'exploitation de Sanguinède par chambres et piliers a été réalisée par l'Ecole des Mines d'Alès [7] [8] s'appuyant sur des mesures de caractéristiques mécaniques des matériaux constitutifs des piliers, réalisées en laboratoire.

Comme à Montdardier, les valeurs des caractéristiques mécaniques sont élevées :

- la résistance à la compression simple moyenne est de 65 MPa avec un écart type de 22 MPa ;
- la limite élastique moyenne est de 28 MPa avec un écart type de 9,5 MPa.

Le taux de défrètement effectivement appliqué dans les secteurs chambres et piliers est de 61 % [7], alors que les résultats des essais mécaniques autorisaient un taux supérieur à 70 %.

#### 3.1.2.3.2 Sanguinède Sud (Les Boissières)

Cette zone de travaux n'est connue que par les orifices des galeries répertoriés dans le dossier d'arrêt METALEUROP et la trace de deux galeries sur les plans généraux d'exploitation du dossier. Il s'agit de travaux correspondant probablement à la première période d'exploitation de la mine des Malines.

Sur la carte informative, nous avons délimité une zone présumée de travaux en englobant assez largement l'ensemble des ouvrages et les deux galeries. Nous n'avons pas indiqué de profondeur même si il est probable que ces travaux se situent à faible profondeur (< 50 m).

Les visites de terrains réalisées à cet endroit ont mis en évidence l'existence d'anciennes verses à stériles de faibles dimensions attestant l'existence d'anciens travaux à cet endroit.

### 3.1.3 Cas des exploitations isolées anciennes

Avant la découverte des gisements de la mine des Malines, l'exploitation de plomb-zinc a concerné d'autres secteurs géographiques du district (calamine aux Avinières et Mas Seguin par exemple). Il est de plus fait mention dans le dossier de METALEUROP de l'exploitation d'autres substances (le fer en particulier à Saint-Julien-de-la-Nef, à Ferrières, au Mont Méjean).

#### 3.1.3.1 Exploitations Pb-Zn

##### Caucanas

Il s'agit de travaux anciens indépendants situés au Sud de Vieille Mine dont l'accès s'effectuait probablement depuis le ruisseau du Gasson sur le versant sud de la ligne de crête reliant le Pic d'Anjeau aux Rochers de la Tude.

Ces travaux, cités dans le dossier METALEUROP, sont suggérés par la trace de galeries sur les plans généraux d'exploitation. De plus, le fond topographique au 1/25000<sup>ème</sup> de l'IGN indique l'existence d'orifices d'anciennes galeries de mine à cet endroit. Les traces de galeries des plans METALEUROP ont été recalées à partir de ces orifices.

Ces travaux, a priori uniquement constitués de galeries, s'enfoncent très rapidement, depuis les orifices situés à 470 m NGF environ, sous le plateau calcaire du Bathonien situé à 700 m NGF.

Nous avons délimité une zone de travaux supposée sur la carte informative.

### **Nord-Est de Font Bonne**

Trois orifices miniers situés au Nord-Est de Font Bonne ont été recensés par l'exploitant. Nous ne possédons aucune information quant à l'importance des travaux qui auraient pu y être pratiqués.

Sans autre indication, nous avons délimité une zone de travaux, probablement largement surestimée, englobant les trois orifices.

### **Les Avinières et Ferrières**

Il s'agit de travaux dont le début est antérieur à la découverte du gisement principal des Malines. Ils se situent dans les calcaires affleurants du Bathonien, aux lieux-dits les Avinières et Ferrières, à l'Est de Saint Laurent-le-Minier et en rive gauche de la Vis.

Aux Avinières, 120 000 tonnes de calamine ont été extraites à ciel ouvert de 1875 à 1884 et de 1910 à 1913. Aucune autre information n'est disponible sur ces travaux. On notera cependant que la coupe 1 présentée en figure 4 indique l'existence d'un travers-bancs (T.B.) non visible sur le site.

Le gîte de Ferrière a été exploité en 1910-1911 dans des conditions identiques. Ce site a de plus fait l'objet d'une exploitation de fer. Que ce soit pour le plomb-zinc ou le fer, nous n'avons aucune information supplémentaire sur ce site.

Aux Avinières et à Ferrières, sur les pentes surplombant la vis, on note l'existence d'anciennes verses à stériles et de ruines correspondant probablement aux anciens bâtiments de l'exploitation.

Sur la base de ces constatations, complétées par l'observation de photos aériennes, nous avons délimité sur la carte informative, les zones supposées d'anciens travaux miniers dont ils semblent qu'ils n'aient été réalisés qu'à ciel ouvert.

### **Mas Lacombes**

Cette dernière zone d'anciens travaux, antérieurs à ceux des Malines, n'est pas décrite dans le dossier d'arrêt. Elle se localise à 2,5 km au Nord-Ouest de Saint-Laurent-le-Minier. Cinq orifices de galeries sont indiqués sur le plan topographique de l'IGN.

Sur le site, nous avons pu constater l'existence de deux entrées de galerie ouvertes sur une vingtaine de mètres et possédant une ouverture de l'ordre de 3 m. Les autres entrées n'ont pas été reconnues.

A l'entrée des galeries, on note l'existence de remblais stériles disposés en verse d'une quinzaine de mètres de haut.

N'ayant pas d'autres indications sur les travaux de cette zone, nous avons délimité une zone de travaux supposés s'enfonçant dans le massif sur une centaine de mètres selon l'orientation des galeries.

#### **3.1.4 Cas des exploitations autres que Pb-Zn**

En plus de l'exploitation du fer à Ferrière, on citera, pour information, toute autre information nous étant inconnue, ce passage du dossier d'arrêt de l'exploitation :



*« La mine des Malines proprement dites n'a fait l'objet d'exploitation que depuis un siècle, bien que depuis longtemps, dans le district, les reconnaissances d'indices ou d'exploitations artisanales, aient été innombrables. La plupart concernent des formations paléozoïques où se rencontrent très fréquemment des placages, remplissages fissuraux, voire de petits amas de barytine à bouronite : c'est l'argent associé à ce sulfo-antimoniure (...) qui semble-t-il retenait l'attention des anciens prospecteurs ».*

### 3.2 OUVRAGES DEBOUCHANT AU JOUR

L'exploitation de la mine des Malines a été réalisée uniquement à partir de galeries à flanc de montagne après reconnaissance du gisement par forages. Les chantiers étaient aérés par des cheminées verticales. Aucun puits d'extraction au jour n'a été foncé.

Le dossier de METALEUROP recense, localise et décrit, l'ensemble des ouvrages débouchant au jour du domaine minier des Malines, à l'exception des galeries de Mas Lacombe.

#### 3.2.1 Méthodes de traitement

Pour les galeries, les méthodes de traitement ont été les suivantes :

- méthode A (figure 8) : la galerie est remblayée sur les dix premiers mètres en matériaux tout-venant fortement clavé en couronne. L'orifice est réaménagé en surface ;
- méthode B : (figure 9) : le remblayage est réalisé sur les 5 premiers mètres de la galerie en matériaux tout-venant fortement clavés en couronne venant prendre appui sur un mur en béton armé de 0,5 m d'épaisseur. En arrière du mur, la galerie est foudroyée sur une longueur minimum de 5 m.

Les galeries avec écoulement d'eau sont équipées d'un minimum de deux tuyauteries.

Quelques galeries n'ont pas été traitées par l'exploitant en raison principalement de problème d'accessibilité de leur entrée. D'autres ont été recensées mais nous ne possédons pas d'indications sur leur mode de traitement.

Les cheminées d'aérage sont toutes traitées par remblayage complet (figure 10) sur toute la hauteur.

Enfin, il existe quelques excavations correspondant à l'aménagement de l'accès aux entrées d'une ou plusieurs galeries. Elles ont été réhabilitées par apport de matériaux de façon à obtenir, tant que faire ce peut, le profil du sol antérieur à l'exploitation.

#### 3.2.2 Carte informative

L'ensemble des orifices débouchant au jour, plus ceux retrouvés sur le terrain ou déduits des informations de la carte informative, ont été positionnés sur la carte informative.

Pour les galeries, la couleur du symbole correspond à la méthode de traitement :

- en bleu, les galeries traitées selon la méthode A ;
- en rose, selon la méthode B ;
- en rouge, selon une méthode inconnue ou non traitée.

La taille du symbole permet de distinguer :

- les galeries principales. Il s'agit de galerie ayant une largeur de 5 m pour une hauteur équivalente ;
- les galeries secondaires. Elles ont, soit 2 m de large pour une hauteur équivalente, soit 5 m de large pour 3 m d'ouverture.

Les cheminées et les excavations possèdent chacun un symbolisme différent.

Remarque : deux indices d'entrée de galeries recensées, sur la carte topographique de l'IGN en dehors de l'emprise minière, à Vieille Mine et à Sanguinède, n'ont pas été retenues comme orifice minier sur la carte informative. Ils ne correspondent en effet à aucun travaux et ceci dans des zones où les travaux d'exploitation sont bien connus par des plans détaillés.

### 3.3 REMARQUE GENERALE SUR LES DESORDRES EN SURFACE

L'analyse des différents documents relatifs à l'exploitation des Malines, notamment du dossier d'arrêt, complétée par les observations réalisées sur le site et l'analyse des photos aériennes à différentes époques n'a pas mis en évidence de désordres observables en surface, de quelque nature que ce soit, liés à l'ancienne exploitation de la mine des Malines.

Nous n'avons pas retenu que l'existence de grandes fissures verticales sur le rempart du château de Montdardier comme peut être imputable à l'ancienne exploitation située à son aplomb et ceci pour les raisons suivantes :

- les travaux situés à aplomb de la zone sont des quartiers récents exploités dans les années 1980 ;
- au cours de l'exploitation, le nivellement de surface n'a pas mis en évidence de mouvements significatifs ;
- ces travaux ont été inspectés avant leur fermeture et leur remblayage complet par M. Duffaut [2c]. Il a été constaté une très bonne tenue des piliers et du toit de l'exploitation.

### 3.4 ELEMENTS RELATIFS AU GAZ DE MINE

Il n'est fait à aucun moment état, dans le dossier d'arrêt de l'exploitation, de problèmes particuliers liés au gaz de mine.

## 4. LA DIGUE A STERILE

---

### 4.1 DESCRIPTION

La digue à stériles constitue le seul ouvrage majeur encore visible sur le site de la mine des Malines. Il s'agit du dépôt des stériles issus du procédé d'enrichissement du minerai par flottation dont les caractéristiques principales sont les suivantes [6] :

- le dépôt a été édifié à l'emplacement de la vallée de la Crenze, immédiatement en aval des installations de traitement du minerai ;



- la hauteur totale du dépôt entre le pied de la digue et la plate-forme du dépôt est de l'ordre de 83 m. La crête de digue a été surélevée en dernier lieu avec les remblais issus du creusement de l'évacuateur de crue. Son sommet se situe à une cote de l'ordre de 346 m NGF, soit 90 m par rapport au pied de la digue ;
- la superficie totale du dépôt est de 13 hectares ;
- le volume de matériaux déposés est de 4,2 millions de m<sup>3</sup> dont 1,9 million pour le corps du barrage ;
- la pente de la plate-forme est de 0,5 % et celle du parement aval de la digue de 33 % (≈ 18 °) ;
- un massif d'enrochement, en agrégats de rivière de différentes granulométries, à l'aval, sert de digue d'ancrage ;
- le barrage a été édifié par la méthode de digue aval par cyclonage des sables déposés en sous-verse. En amont du barrage, la surverse est composée des éléments les plus fins issus de la décantation des eaux chargées en fines ;
- les matériaux constitutifs du dépôt sont des sables fins essentiellement dolomitiques (60 %). Il n'y a pas de matériaux de taille granulométrique plus petite que les sables. Les teneurs en fer, plomb et zinc sont respectivement de 3, 0,2 et 0,4 % .

#### Système de drainage

L'ouvrage possède plusieurs systèmes de drainage :

Au sein du dépôt, deux massifs drainants ont été positionnés dans le corps du barrage, l'un en travers de la vallée, posé directement sur l'assise, l'autre dans la masse même de l'ouvrage, dans l'axe de la vallée, incliné de 20 à 25° vers l'aval. Ces deux drains sont reliés à un drain principal en matériaux calibrés qui suit l'ancien lit du ruisseau. Ces drains débouchent en pied de la digue.

Deux tunnels au rocher dévient les eaux amont des deux ruisseaux principaux du site (la Crenze et le Broun). Le tunnel de Crenze a une longueur de 950 m et celui du Broun de 750 m. Ils ont une section moyenne de 6 m<sup>2</sup>. Les plans indiquent également un autre tunnel reliant celui du Broun à un ruisseau affluent de Conduzorgues dans la vallée voisine.

En surface, un canal évacuateur, positionné au Nord de la plate-forme, a été réalisé en 1992. Il permettrait de palier une remontée excessive du niveau de l'eau sur l'aire de décantation en cas de pluie exceptionnelle et d'éviter ainsi la submersion de la crête de la digue. Il relie la plate-forme au ruisseau affluent de Conduzorgues.

Enfin, sur le parement aval du dépôt, une série de cunettes et d'enrochement latéraux ont été aménagés pour éviter le ruissellement. Ce parement est depuis végétalisé.

Aucun désordre n'a été constaté que ce soit au niveau du parement ou de la plate-forme du dépôt.

On notera enfin qu'il existe un système de télésurveillance du dépôt par :

- mesure du niveau d'eau dans trois piézomètres implantés dans le corps de digue ;
- mesure du débit à la sortie du drain principal du dépôt.

### Etudes de stabilité

Le dépôt de stériles de la mine des Malines a fait l'objet de nombreuses études de stabilité par le CEBTP ([10] à [13]) au fur et à mesure de son édification.

Toutes les études démontrent la stabilité de l'ouvrage y compris en envisageant des scénarios exceptionnels (sismicité, pluies et remontées de nappe exceptionnelles). Les résultats principaux de ces études seront discutés lors de la détermination de l'aléa. Notons, toutefois, à ce stade de l'étude que :

- l'exploitation des Malines est située dans une zone où l'aléa sismique est nul à négligeable ;
- que les derniers aménagements réalisés sur le dépôt, en particulier le canal évacuateur de crues, constituent une sécurité supplémentaire vis-à-vis de conditions hydrologiques exceptionnelles par rapport au système de drainage et de surveillance déjà existants ;
- enfin, l'ensemble de l'ouvrage a reçu l'agrément du Comité technique des barrages le 20 octobre 1988.

### Carte informative

Sur la carte informative sont distingués :

- en rose, le corps du barrage ;
- en vert, le dépôt proprement dit ;
- en bleu marine, les canaux souterrains d'écoulement des eaux amont ;
- en bleu clair, le canal aérien évacuateur de crue.

La pente moyenne du corps de barrage (18°) est également indiquée.

## **5. EXHAURE MINIERE**

---

### **5.1 SITUATION HYDROGEOLOGIQUE ACTUELLE**

L'étude réalisée par l'Ecole des Mines de Paris (Combes, Schmitt et Ledoux (1994) [4, 5]) dans le cadre de l'établissement du dossier d'arrêt de la mine des Malines, complétée de données récentes (B. Coste (2002), [16]) permettent de dresser la situation hydrogéologique actuelle :

- les travaux miniers se répartissent en quatre secteurs hydrauliquement indépendants : Montdardier, Sanguinède, Vieille Mine et Recherche 102 ;
- la remontée des eaux a eu lieu dans tous les secteurs exploités. La dernière galerie, dénommée Espérance, qui ne coulait pas en 1994 (date du rapport de l'Ecole des Mines de Paris) est à présent un exutoire permanent. La situation hydrogéologique sur l'ensemble de l'exploitation de la mine des Malines est stabilisée ;
- très globalement, on peut estimer la part des travaux miniers noyés à 50 % avec toutefois des différences notables par secteur : à Montdardier, seule une très faible part des travaux est noyée, de même pour ceux de la recherche 102. A Sanguinède et Vieille Mine, les travaux les plus profonds, correspondant à environ 50 % de l'ensemble des travaux, sont noyés ;

- on recense dix exutoires des travaux miniers. Les secteurs Montdardier et Recherche 102 n'en possèdent qu'un, Sanguinède 2, et le secteur Vieille Mine 6 dont 3 seulement sont permanents.

Les exutoires des travaux miniers souterrains sont tous des galeries de mine. Ils sont indiqués sur la carte informative par une flèche courbe bleue. Les caractéristiques et le mode de traitement de ces ouvrages sont indiqués respectivement aux paragraphes 3.2.2 et 3.2.1. Un traitement spécifique a été mis en œuvre pour les galeries constituant des exutoires permanents ou même temporaires de façon à assurer la pérennité de l'exhaure.

## 5.2 QUALITE DES EAUX D'EXHAURE ET DES EAUX SUPERFICIELLES

La qualité des eaux d'exhaure est suivie annuellement depuis l'arrêt de l'exploitation :

- en trois points dans le secteur Vieille Mine : galeries Andrée, Vieille Mine et Nadir. Les eaux de la galerie Espérance, exutoire récent des travaux les plus profonds du secteur, sont traitées à la chaux avant d'être rejetées dans le milieu ;
- au point de rejet unique, correspondant à la galerie T3 à Montdardier ;
- aux deux points de rejet de Sanguinède, les galeries Sanguinède Ouest et TB aval.

De même, la qualité des eaux superficielles est suivie en 7 points du bassin versant de la Crenze, depuis le pied du dépôt des stériles (débouché des tunnels de dérivation des eaux amont des ruisseaux de la Crenze et du Broun) jusque dans la Vis où se jette la Crenze.

La qualité des eaux de drainage du dépôt de stériles est également suivie.

Tous les points de surveillance des eaux superficielles sont indiqués sur la carte informative (symbole rond bleu).

Enfin, nous avons noté sur la carte informative, pour chaque point d'analyse régulier des eaux d'exhaure et superficielles, les teneurs moyennes en zinc, plomb et cadmium ainsi que le pH et la conductivité correspondant aux mesures effectuées pendant la période 1996 à 2000. Les valeurs en rouge indiquent que la valeur moyenne sur 5 ans dépasse la norme imposée par l'arrêté préfectoral relatif à la qualité des eaux d'exhaure de la mine des Malines (voir tableau ci-après). Deux points de rejet montrent un dépassement pour la teneur en zinc. Il s'agit de ceux de la galerie Vieille Mine et Nadir.

Tableau 1 : Normes relatives à la qualité des eaux d'exhaure de la mine des Malines (Arrêté Préfectoral du 20 janvier 1992)

	Normes
Zn (mg/l)	< 5
Pb (mg/l)	< 0,1
Fe (mg/l)	< 0,3
Cd (mg/l)	<0,05
pH	5,5 à 8,5
Conductivité (µS/cm)	< 2500
Température (C°)	< 30

### Constats d'impacts

Le bilan récent réalisé par B. Coste [16] permet de dégager les points importants suivants en termes d'impact :

#### *Eaux d'exhaure*

- trois principales sources de pollution sont distinguées en prenant en compte la concentration en métaux et le débit moyen : la galerie TB aval à Sanguinède, la galerie Vieille Mine pour le secteur Vieille Mine et le drain du dépôt de stériles. Seule la galerie Vieille Mine montre une teneur en zinc légèrement supérieure à la norme (5,4 mg/l), les autres points de rejet montrant des teneurs comprises en 4 et 5 mg/l pour le zinc (norme : 5 mg/l). La galerie Nadir du secteur Vieille Mine dont la teneur moyenne en zinc sur 5 ans correspond au double de la valeur admise n'a pas été retenue, par B. COSTE [16], comme source de pollution compte tenu de son faible débit ;
- pour ces trois points principaux, le bilan réalisé sur 5 ans laisse à penser que l'on a atteint un niveau d'équilibre.

#### *Impact sur le milieu*

- l'impact des rejets de galeries et du drain de la digue à stérile sur les cours d'eau en aval est de l'ordre de 1 mg/l ;
- la teneur moyenne dans la Vis après Saint-Laurent-le-Minier est de 0,57 mg/l. Ces teneurs sont à comparer aux valeurs du milieu naturel non influencé par les rejets à savoir 0,02 mg/l ;
- les analyses réalisées sur les sédiments du bassin versant de la Crenze montrent des teneurs en plomb de 0,1 % et en zinc de 0,5 %. Les conclusions de B Coste [16] indiquent qu'ils ne contribuent en aucune façon à la détérioration de la qualité des eaux et de la vie aquatique ;
- enfin, les analyses réalisées sur la flore et la faune montrent un très net impact sur les poissons, dépassant par exemple les normes de consommation appliquées par les services vétérinaires concernant le plomb et le cadmium et ceci jusqu'à la Vis.

## 6. LISTE DES REFERENCES

---

- [1] Mine des Malines. Arrêt définitif des travaux d'exploitation. Dossier d'abandon. METALEUROP. Rapport simplifié.
- [2] Mine des Malines. Arrêt définitif des travaux d'exploitation. Dossier d'abandon. METALEUROP. Annexes (première partie), volume 2/3.
  - [2a] Rapport sur la stabilité à long terme de l'édifice minier des Malines dans le cadre de la procédure d'abandon. Rapport de l'Ecole des Mines de Paris – Centre de Géotechnique et d'Exploitation du Sous-sol de M. Duchène du 4 juillet 1994.
  - [2b] Mine des Malines, quartier de Montdardier. Rapport sur l'état du toit et des piliers. Rapport de M. Duffaut daté du 21 janvier 1991.
- [3] Mine des Malines. Arrêt définitif des travaux d'exploitation. Dossier d'abandon. METALEUROP. Annexes (deuxième partie), volume 3/3.
- [4] Etude de la qualité des eaux. Région de Saint-Laurent-le-Minier (Gard). Rapport de l'Ecole des Mines de Paris – Armines de MM. Combes, Schmitt et Ledoux, octobre 1994, pour le compte de METALEUROP. Document de texte.
- [5] Etude de la qualité des eaux. Région de Saint-Laurent-le-Minier (Gard). Rapport de l'Ecole des Mines de Paris – Armines de MM Combes, Schmitt et Ledoux, octobre 1994, pour le compte de METALEUROP. Document de figures.
- [6] Le dépôt des stériles de la mine des Malines. Dossier METALEUROP.
- [7] Note sur le taux de défrètement de Sanguinède amas. Document Penarroya transmis à la DRIRE, le 29 mars 1985.
- [8] Etude la stabilité de l'exploitation de l'amas de Sanguinède. Rapport ENSTIMA de M. P. Weber, non daté.
- [9] Caractéristiques mécaniques des roches du quartier de Montdardier. Note de synthèse de ENSTIMA, non datée.
- [10] Les Malines, digue principale. Rapport spécial Stabilité de la digue principale à son état final. 2<sup>ème</sup> projet cote maximale +320. Rapport CEBTP de M. Y. Lebègue du 8 novembre 1982.
- [11] Rapport spécial sur la digue côté carreau. Plus particulièrement à son état final. Rapport CEBTP de M. Y. Lebègue du 22 novembre 1982.
- [12] Stabilité de la digue principale à son état final. 2<sup>ème</sup> projet cote maximale + 320. Etude complémentaire (suite). Rapport CEBTP de M. Y. Lebègue du 10 juillet 1985.
- [13] Examen de la note du 18/02/1987 « Eventualité et conséquences d'une ruine totale du dépôt de rejets de la laverie des Malines ». Rapport de M. Y Lebegue. Document Penarroya, non daté.

- [13bis] Rapport annuel de surveillance du dépôt des stériles – Année 1998. Mica Environnement / M. Viard n°99-028.
- [14] Chambres et piliers abandonnés et chambres montantes remblayées juxtaposées dans la mine de zinc des Malines. Article de M. H. Carle, Industrie minérale – Les Techniques, Fév. 1983.
- [15] Le gisement des Malines (Gard) Zn, Pb. Article de Foglierini F., Bernard A. et Verraes G. Publications au 26<sup>e</sup> Congrès Géologique International. Paris 7-17 juillet 1980.
- [16] DRIRE Languedoc-Roussillon - Valorisation des données environnementales. Chapitre 3, exemple des Malines. B. Coste, Fév. 2002, réf. 02-LRO-1.3-R05/BC.

## 7. LISTE DES FIGURES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Figure 1	Localisation des concessions METALEUROP	1 A4
Figure 2	Localisation des travaux miniers (plan à l'échelle de 1/25000 <sup>ème</sup> )	1 A4
Figure 3	Carte géologique de la région des Malines (localisation des coupes géologiques présentées en figures 4, 5 et 6)	1 A4
Figure 4	Coupes géologiques des secteurs Avinières et Montdardier (localisation des coupes en figure 3) ([15])	1 A4
Figure 5	Coupes géologiques du secteur Vieille Mine (localisation des coupes en figure 3) ([15])	1 A4
Figure 6	Coupes géologiques des secteurs Montdardier, Sanguinède et Vieille Mine (localisation des coupes en figure 3) ([15])	1 A4
Figure 6bis	Coupes schématiques montrant l'organisation et la nature des minéralisations de Sanguinède ([1])	1 A4
Figure 7	Localisation des secteurs et quartiers d'exploitation de la mine des Malines (d'après [1])	1 A3
Figure 8	Conditions de fermeture des galeries – méthode A ([1])	1 A4
Figure 9	Conditions de fermeture des galeries – méthode B ([1])	1 A4
Figure 10	Conditions de fermeture des cheminées d'aérage ([1])	1 A4
Annexe 1	Etudes préliminaires au PPRM Malines. Carte informative sur l'exploitation de plomb-zinc	Plan hors texte



Ech. 1/200000

- ① Concession des Malines
- ② Concession d'Anjeau
- ③ Concession de St-Julien de la Nef

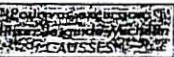
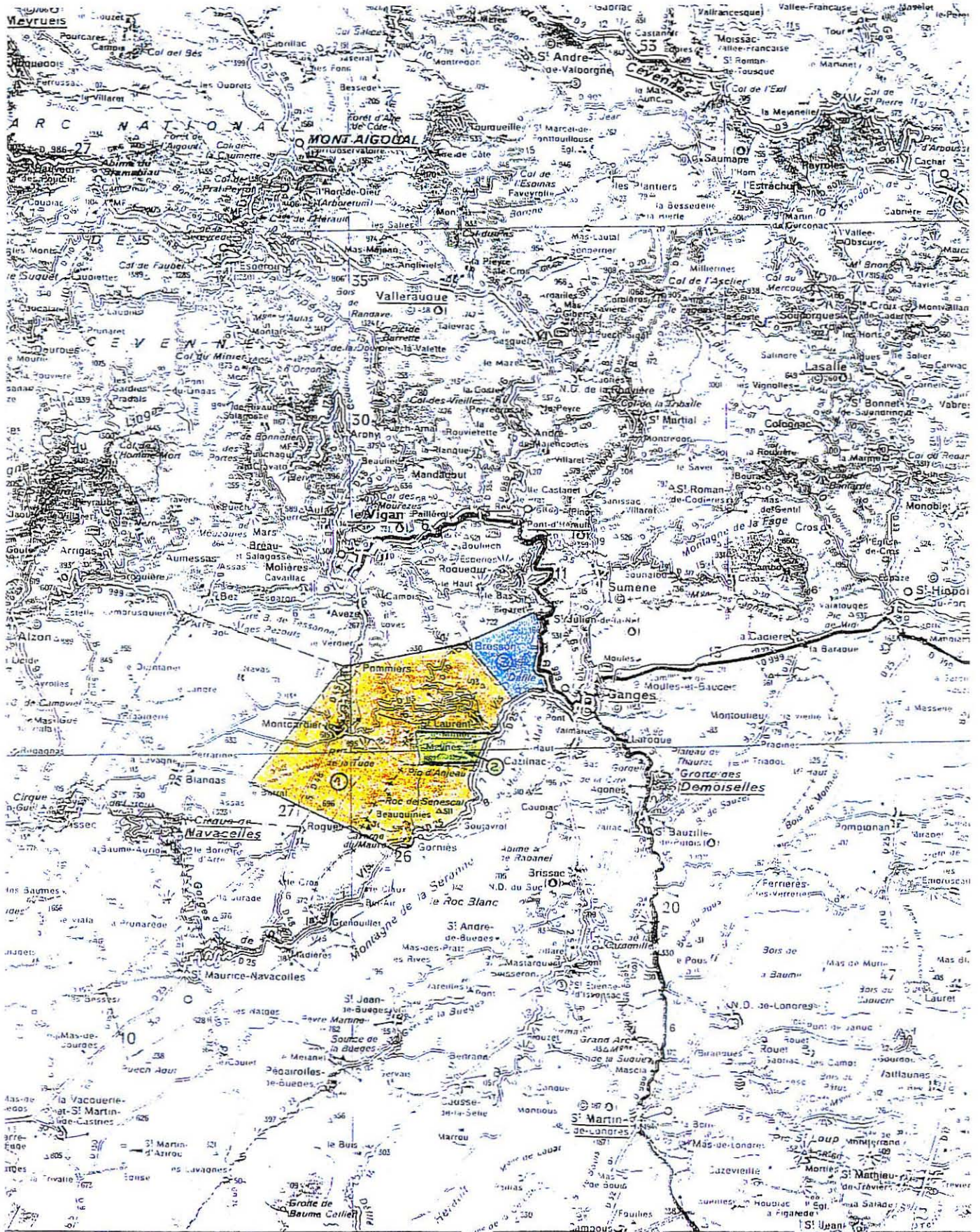


Figure 1 : Localisation des concessions METALEUROP



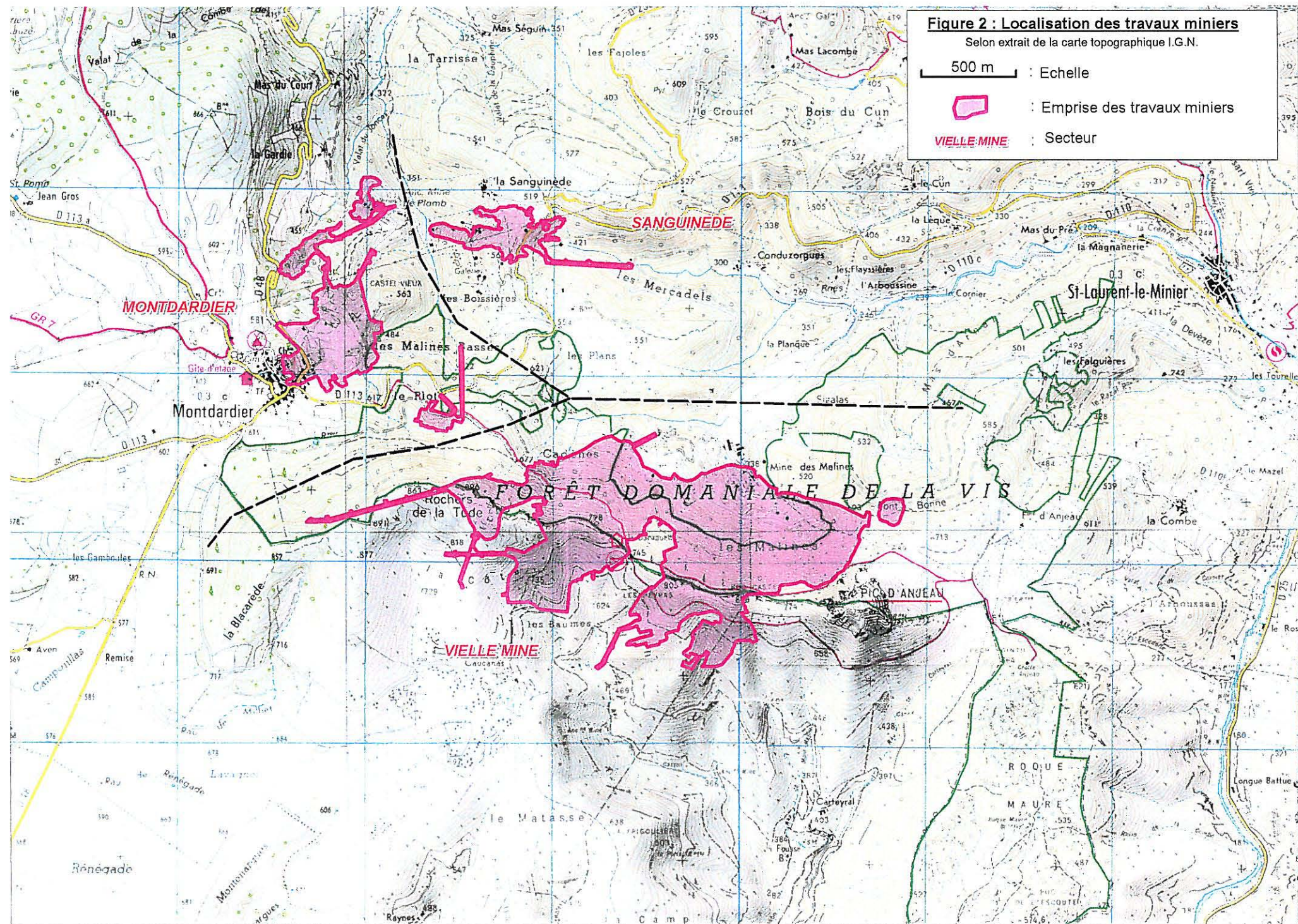
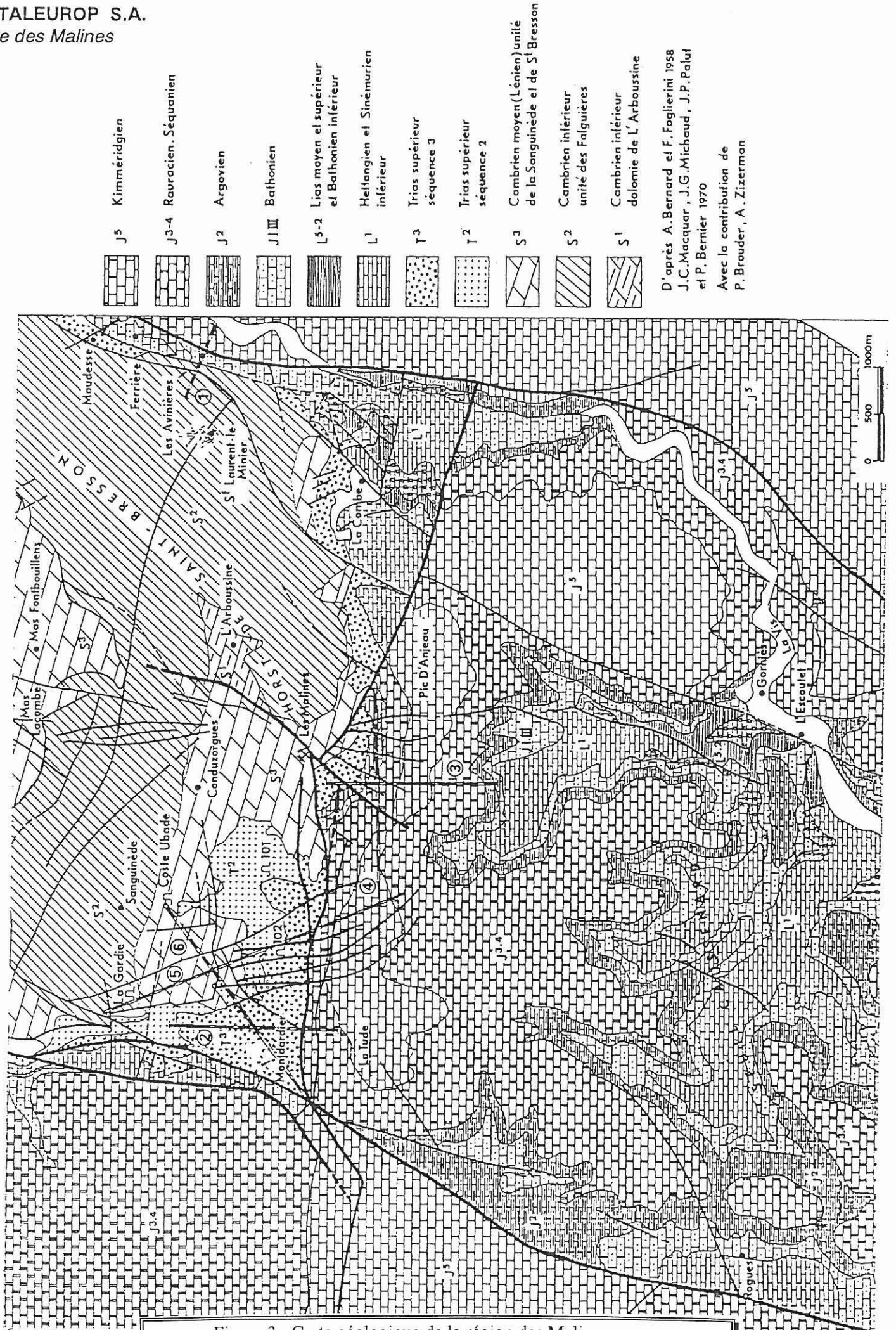


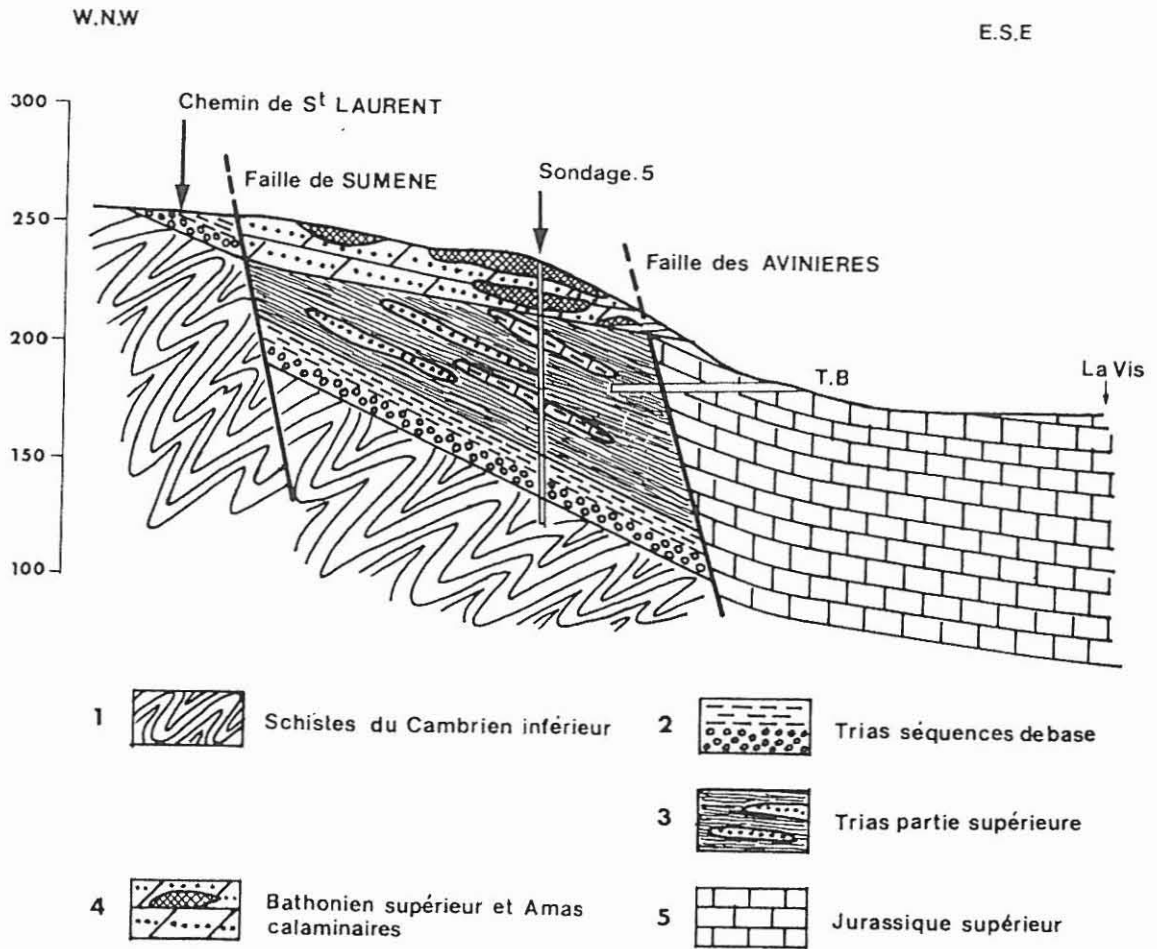
Figure 2 : Localisation des travaux miniers  
 (plan à l'échelle de 1/25000<sup>ème</sup>)



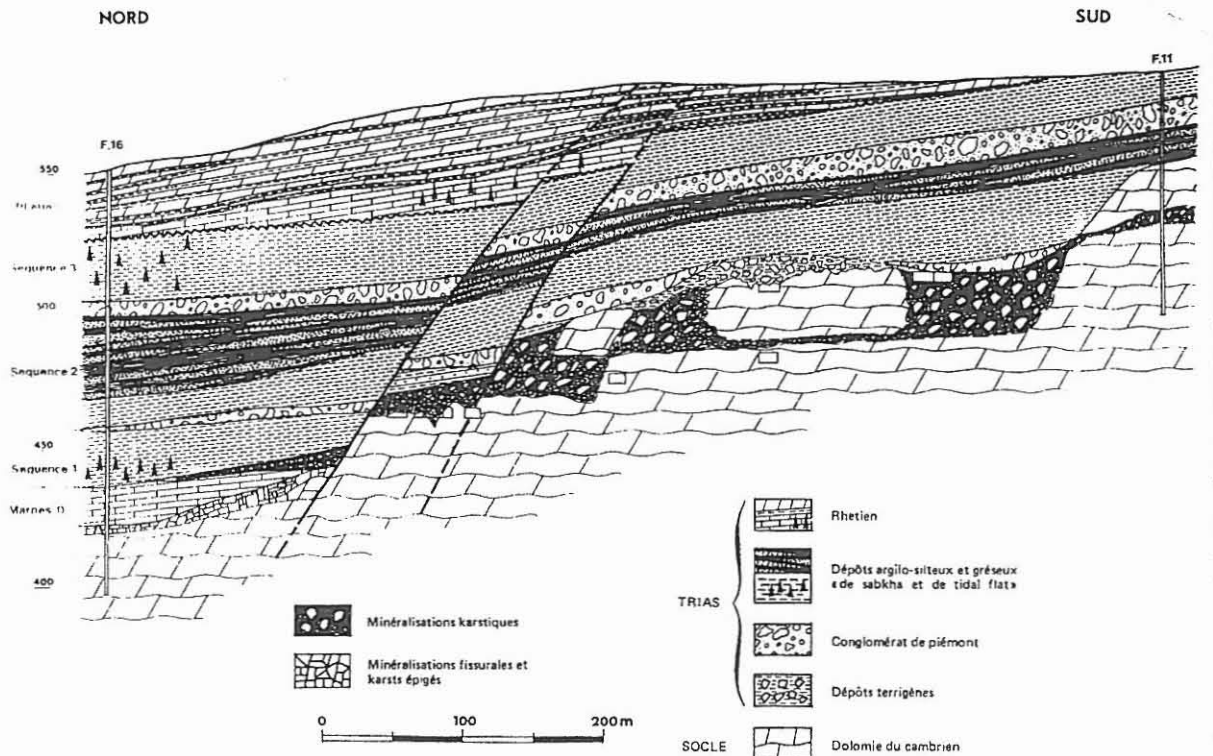


D'après A. Bernard et F. Foglierini 1958  
 J.C. Macquar, J.G. Michaud, J.P. Palut  
 et P. Bernier 1970  
 Avec la contribution de  
 P. Brouder, A. Zizerman

Figure 3 : Carte géologique de la région des Malines  
 (localisation des coupes géologiques présentées en figures 4, 5, 6)



Coupe 1 : Secteur Avinières



Coupe 2 : Secteur Montdardier

Figure 4 : Coupes géologiques des secteurs Avinières et Mondardier (localisation des coupes en figure 3) ([15])

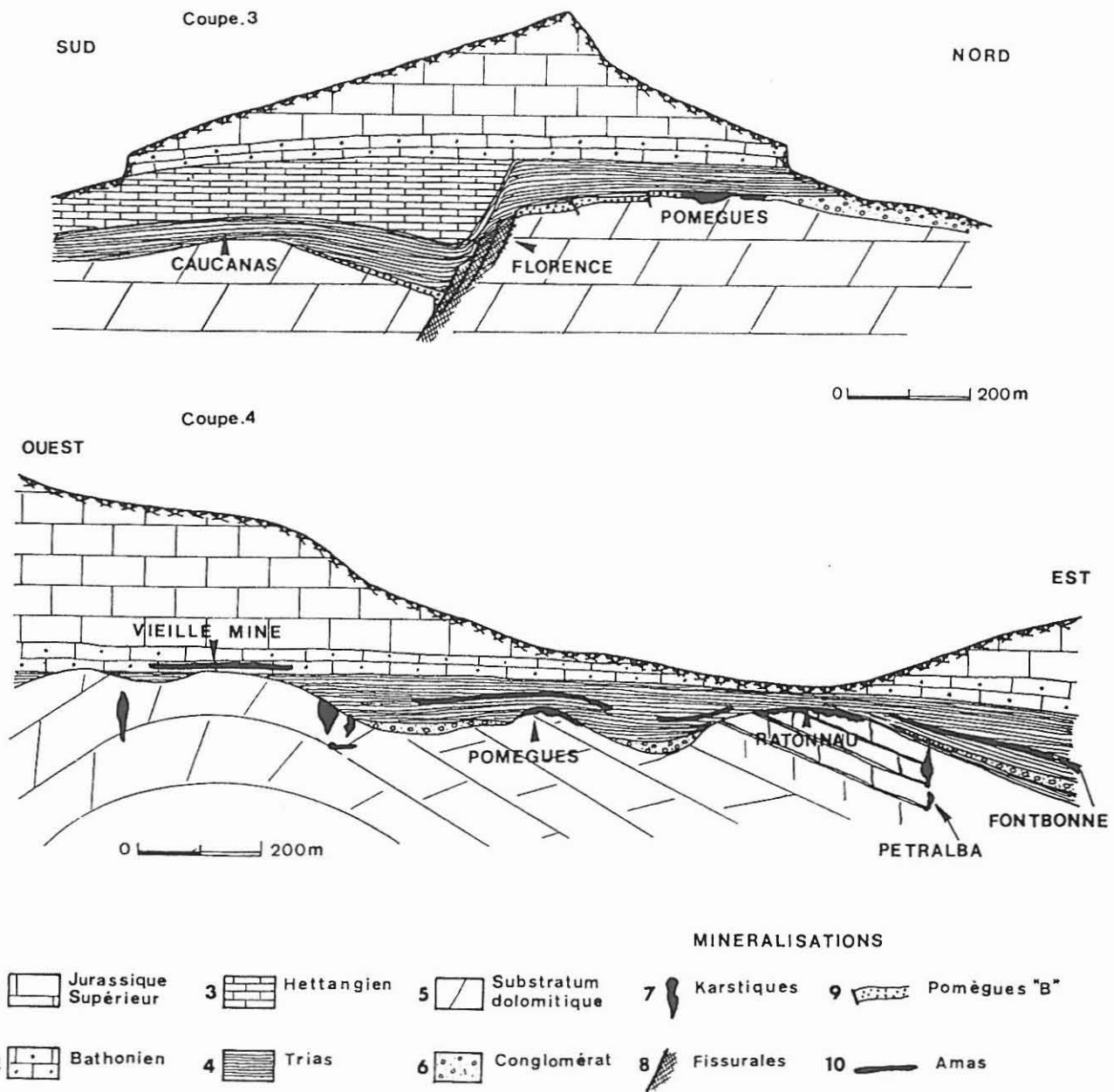


Figure 5 : Coupes géologiques du secteur Vieille Mine (localisation des coupes en figure 3) ([15])

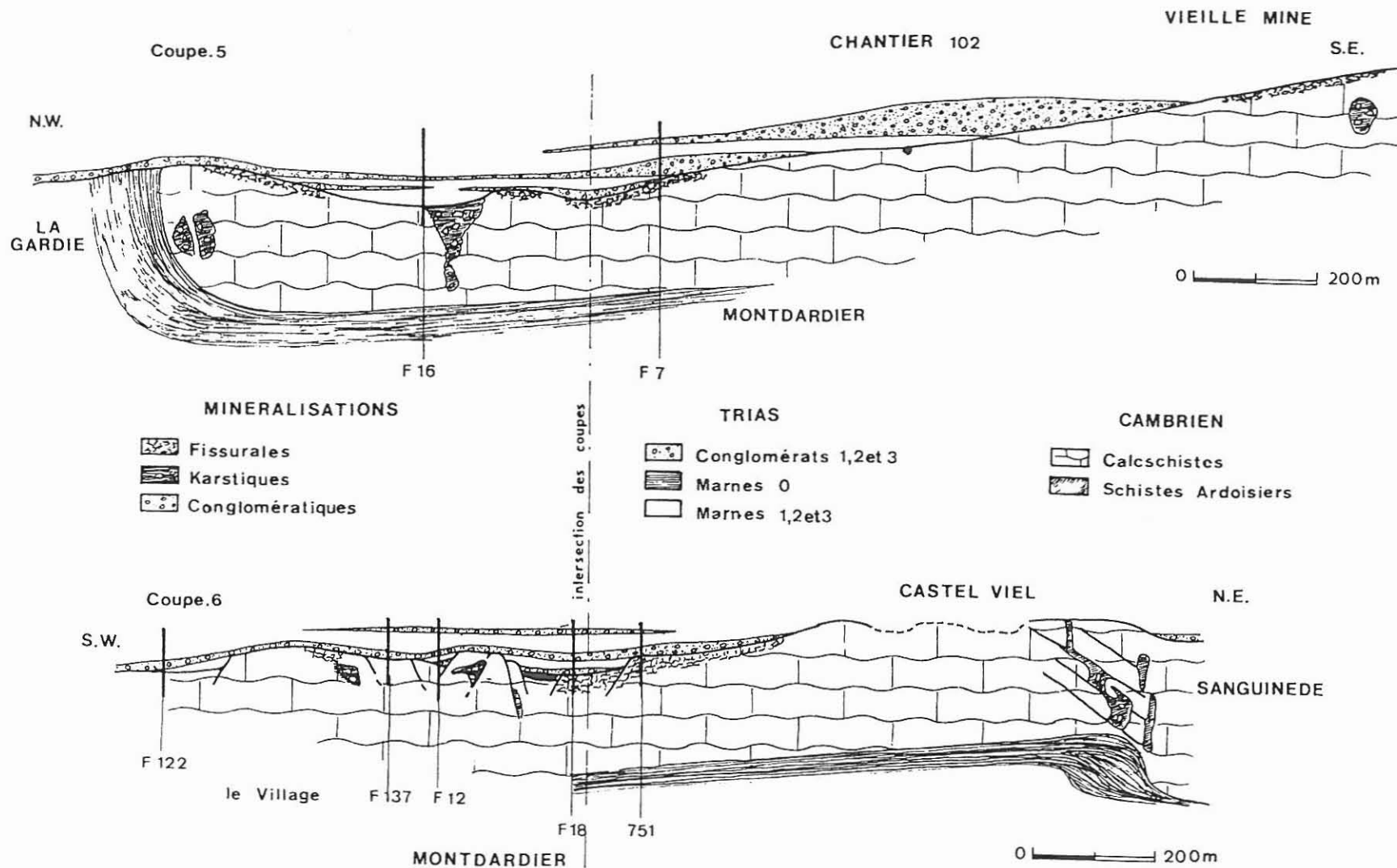


Figure 6: Coupes géologiques des secteurs Montdardier, Sanguinède et Vieille Mine (localisation des coupes en figure 3) ([15])

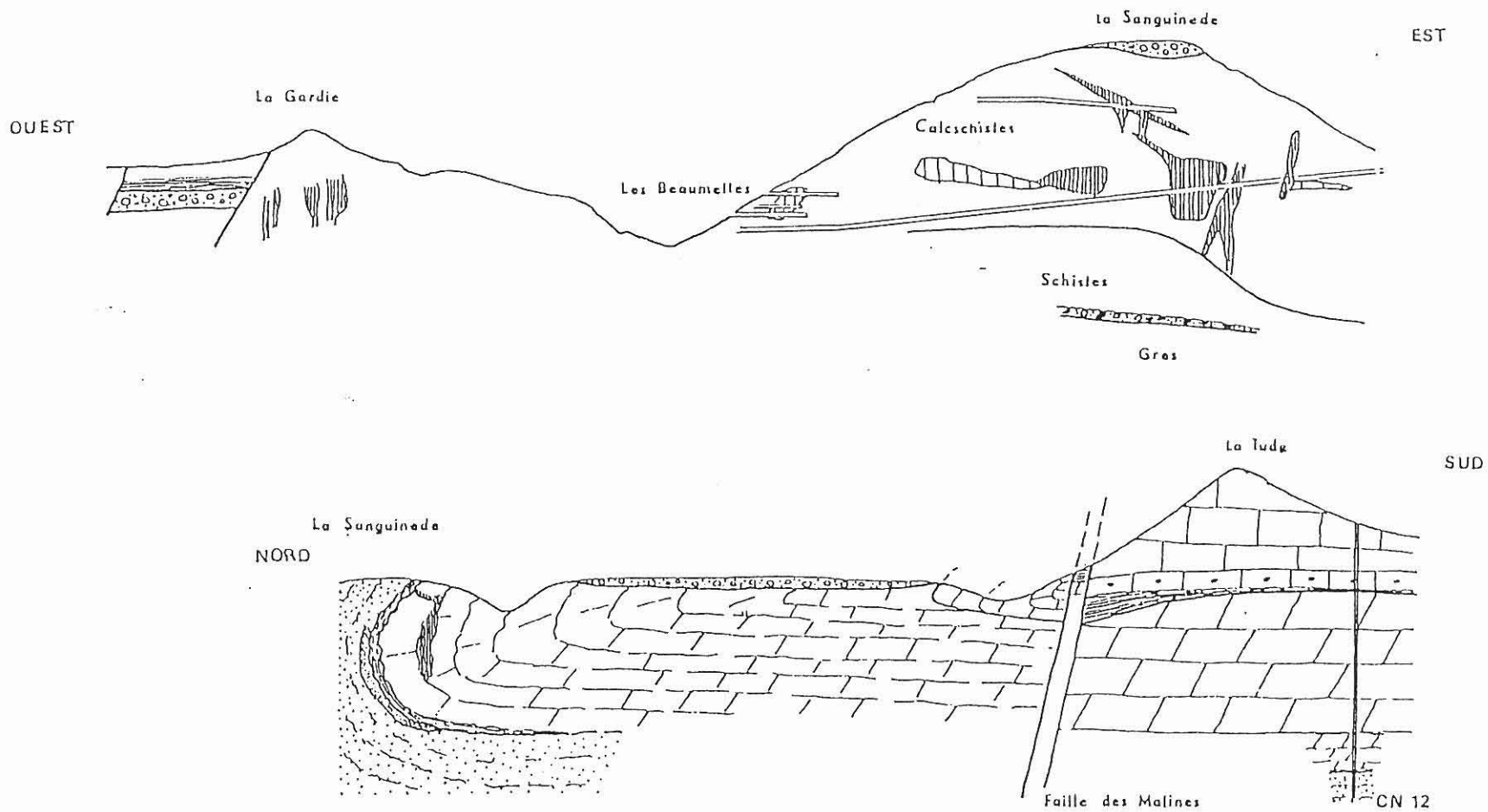


Figure 6 bis : Coupes schématiques montrant l'organisation et la nature des minéralisations de Sanguinède (11)

SOCLE



Dolomie claire 1  
Calcschistes 2



Schisto grasoux

TRIAS



Marno dolomitique



Conglomerat

JURASSIQUE



Jurassique supérieur



Bathonien



Minéral stratoïde



Minéral fissural

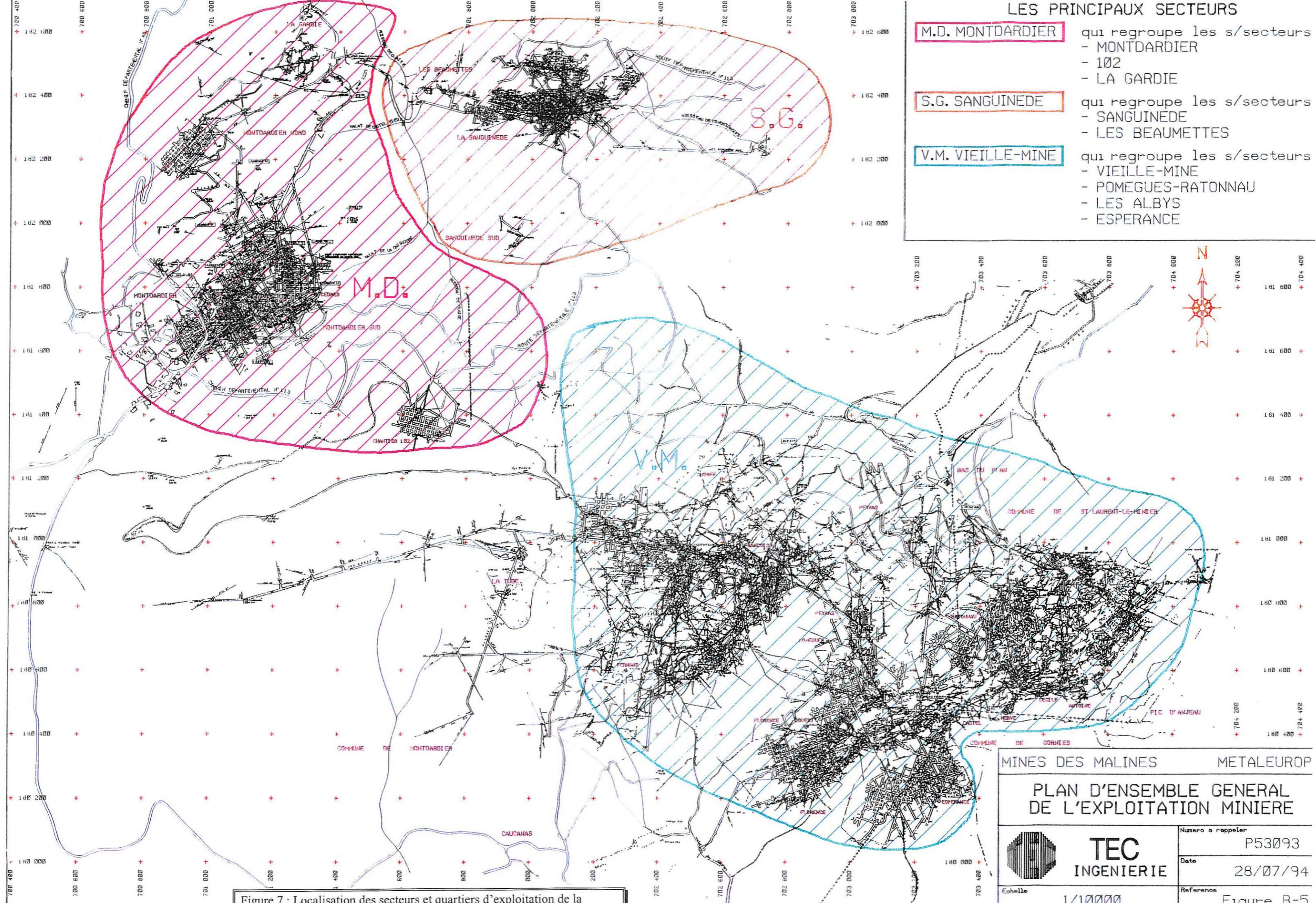


Minéral d'impregnation



Brèche des Gros






**LES PRINCIPAUX SECTEURS**

**M.D. MONTDARDIER** qui regroupe les s/secteurs  
 - MONTDARDIER  
 - 102  
 - LA GARDIE

**S.G. SANGUINEDE** qui regroupe les s/secteurs  
 - SANGUINEDE  
 - LES BEAUMETTES

**V.M. VIEILLE-MINE** qui regroupe les s/secteurs  
 - VIEILLE-MINE  
 - POMEGUES-RATONNAU  
 - LES ALBYS  
 - ESPERANCE

Figure 7 : Localisation des secteurs et quartiers d'exploitation de la mine des Malines (d'après [1])

MINES DES MALINES		METALEUROP	
<b>PLAN D'ENSEMBLE GENERAL DE L'EXPLOITATION MINIERE</b>			
 <b>TEC INGENIERIE</b>	Numero a rappeler		P53093
	Date		28/07/94
	Reference		Figure B-5
Echelle		1/10000	



# Conditions de fermeture des orifices miniers

**GALERIE:**  
traitee suivant METHODE "A"

Aménagement et réhabilitation  
de la surface

remblais tout venant  
clavés au toit de la galerie

10 mètres minimum

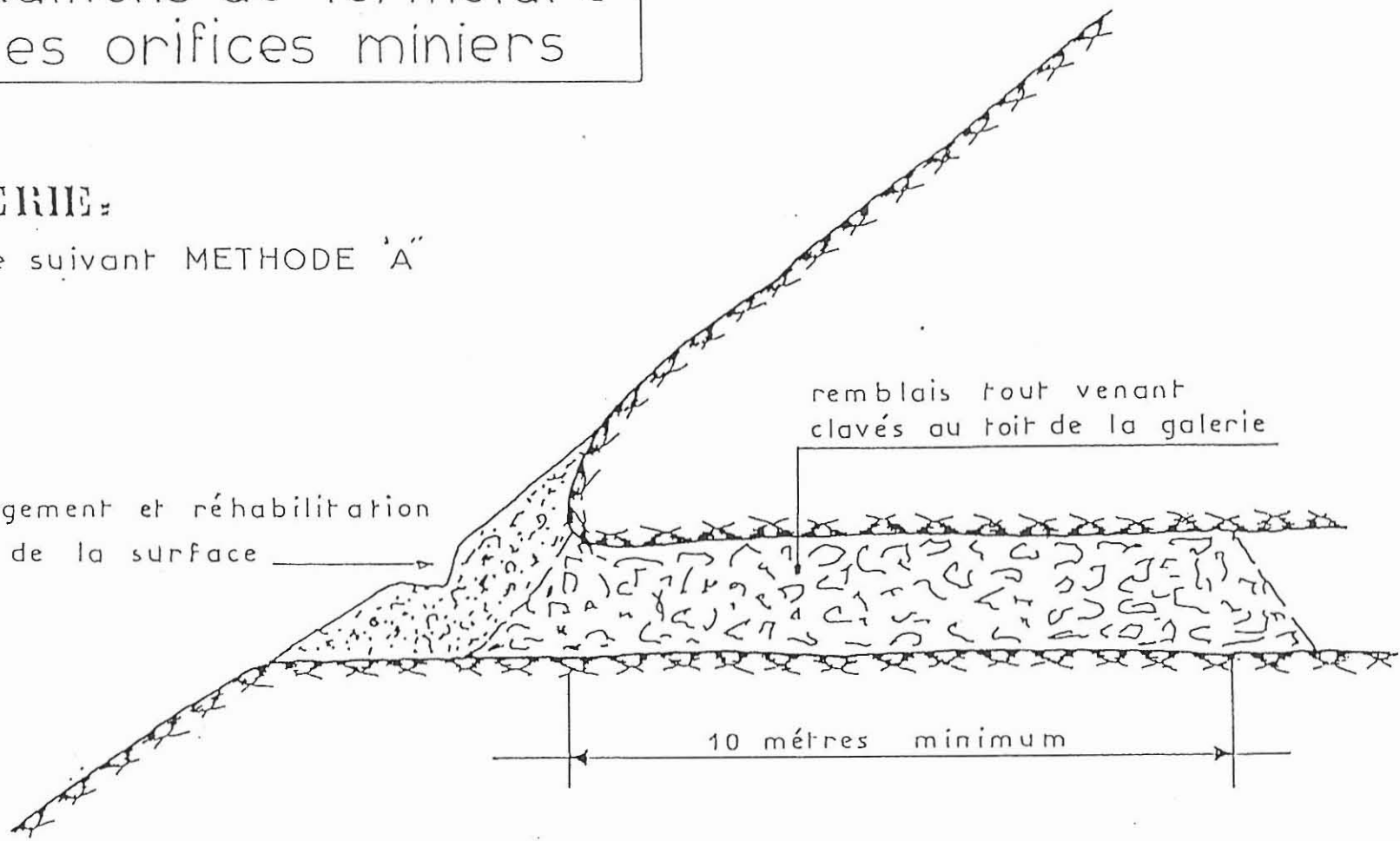


Figure 8 : Conditions de fermeture des galeries – méthode A (11)

Conditions de fermeture  
des orifices miniers:

GALERIE:  
traitée suivant METHODE "B"

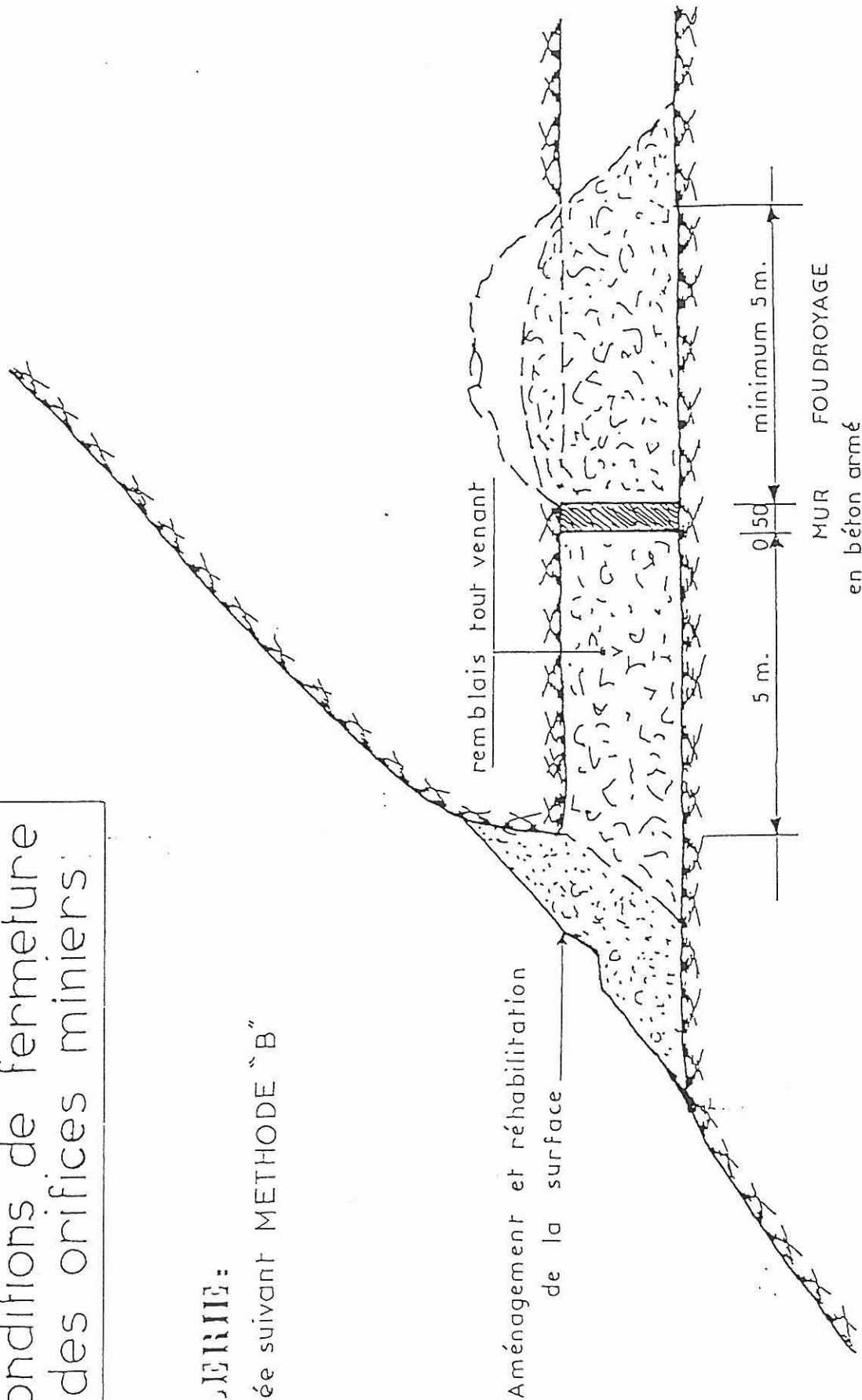


Figure 9 : Conditions de fermeture des galeries – méthode B ([1])

# CHEMINÉES D'AÉRAGE

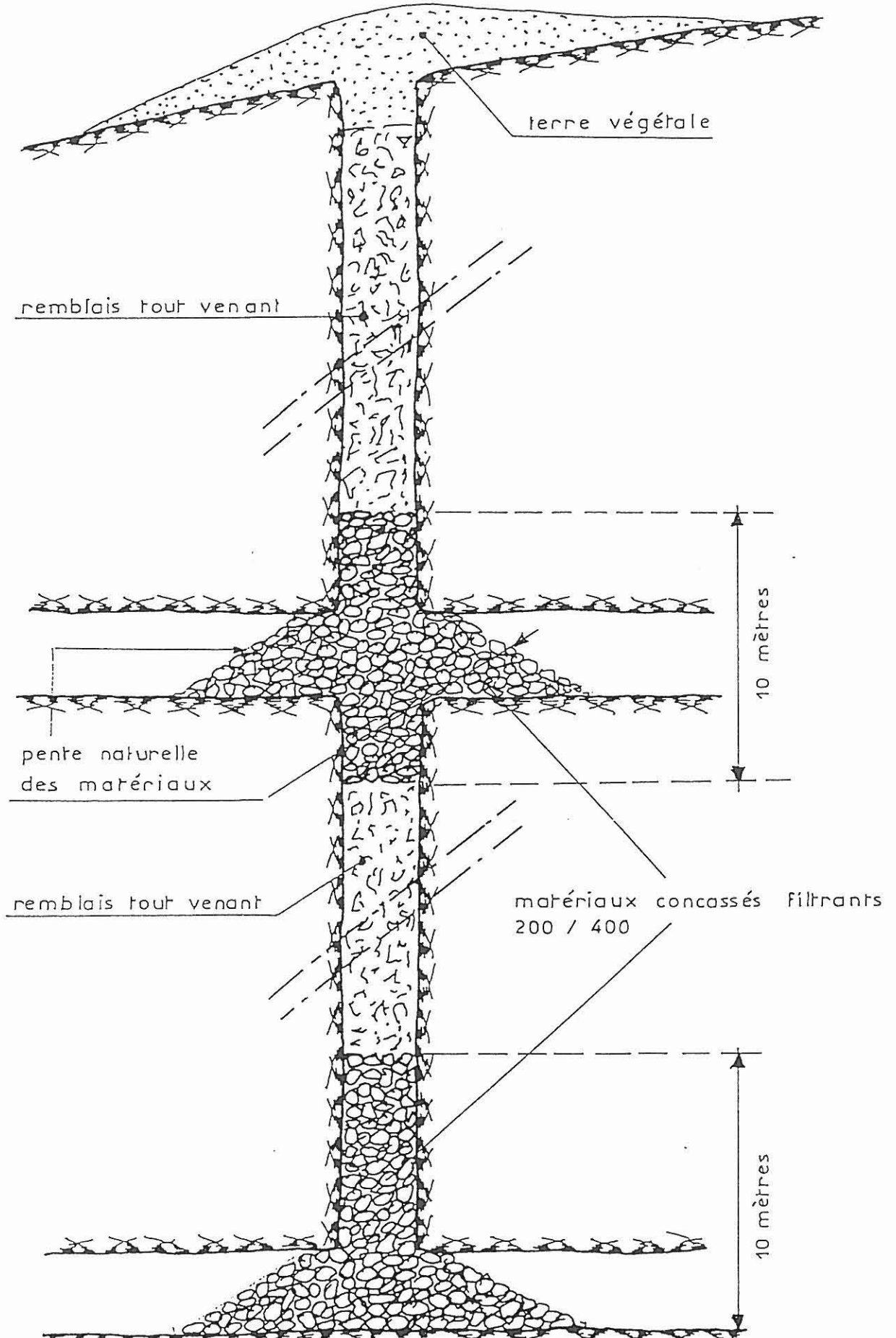


Figure 10 : Conditions de fermeture des cheminées d'aérage ([1])

***INERIS***

*INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES*

Parc Technologique ALATA - B.P. N° 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte  
Tél. : 03 44 55 66 77 - Fax : 03 44 55 66 99 - e-mail : [ineris@ineris.fr](mailto:ineris@ineris.fr)

## **ANNEXE 1**

**Etudes préliminaires au PPRM Malines  
Carte informative sur l'exploitation de plomb-zinc  
(Plan hors texte)**



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

## **Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault)**

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

Définition et cartographie de l'aléa

GEODERIS

*X. DAUPLEY, C. LOISEAU*  
*Direction des Risques du Sol et du Sous-sol*

5 décembre 2002



# Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault)

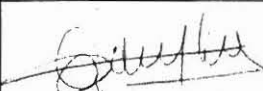
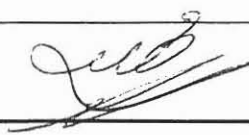
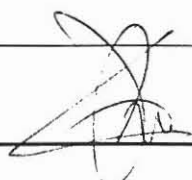
Contribution à la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers

Définition et cartographie de l'aléa

GEODERIS

5 DECEMBRE 2002

Ce document comporte 31 pages (hors couverture et annexes hors texte).

	Rédaction	Vérification	Approbation
<b>NOM</b>	X. DAUPLEY	M. GHOREYCHI	C. TAUZIEDE
<b>Qualité</b>	Ingénieur à l'Unité Modélisation et Evaluation des Risques Géotechniques à la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol	Directeur Adjoint des Risques du Sol et du Sous-sol	Directeur des Risques du Sol et du Sous-sol
<b>Visa</b>			

## TABLE DES MATIERES

<b>1. OBJET ET CONTEXTE.....</b>	<b>3</b>
<b>2. DÉFINITION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA.....</b>	<b>4</b>
2.1 RISQUE « MOUVEMENTS DE TERRAIN » LIÉS AUX EXPLOITATIONX SOUTERRAINES.....	4
2.1.1 <i>Généralités - Définitions</i> .....	4
2.1.1.1 Evénements redoutés .....	4
2.1.1.2 Détermination de l'aléa.....	5
2.1.1.3 Cartographie de l'aléa.....	7
2.1.2 <i>Application à l'exploitation de plomb-zinc des Malines</i> .....	7
2.1.2.1 Rappels des principales caractéristiques de l'exploitation souterraine des Malines et de son environnement .....	7
2.1.2.2 Analyse globale.....	8
2.1.2.3 Cartographie des aléas relatifs aux exploitations souterraines .....	15
2.2 RISQUE « EMISSION DE GAZ DE MINE » LIÉE AUX EXPLOITATIONS SOUTERRAINES .....	19
2.3 RISQUE « MOUVEMENTS DE TERRAIN » LIÉS AUX TRAVAUX DE SURFACE.....	20
2.3.1 <i>Généralités</i> .....	20
2.3.2 <i>Application au dépôt de stériles de la mine des Malines</i> .....	21
2.3.2.1 Définition de l'aléa .....	21
2.3.3 <i>Application aux anciennes exploitations à ciel ouvert</i> .....	24
2.4 RISQUES « IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX » LIÉS À L'ACTIVITÉ MINIERE.....	24
<b>3. CONCLUSIONS.....</b>	<b>27</b>
<b>4. REFERENCES .....</b>	<b>29</b>
<b>5. LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>31</b>

## 1. OBJET ET CONTEXTE

---

La société METALEUROP S.A. est titulaire de trois concessions minières (Les Malines, Anjeau et Saint-Julien-de-la-Nef) situées à 45 km à l'WNW de Nîmes, à cheval sur les départements du Gard et de l'Hérault. Elle a engagé le processus de renonciation à ces concessions et a déposé à cet effet son dossier d'arrêt des travaux miniers souterrains. Celui-ci est instruit actuellement par la DRIRE Languedoc Roussillon.

Sans attendre la fin de ce processus, la DRIRE Languedoc Roussillon souhaite qu'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM) soit établi sur ce site et a demandé à GEODERIS, qui a sollicité l'INERIS, un avis préliminaire relatif à ce PPRM et la réalisation des études préalables à la finalisation de celui-ci.

Dans ce cadre, deux documents ont déjà été établis par l'INERIS :

- *Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault). Bilan des données disponibles en vue de la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers.* Rapport référencé INERIS-DRS-01-37673/R01 du 20 décembre 2001 [17]<sup>1</sup>.

Ce document fait le point des données existantes utiles à la réalisation du PPRM et précise la nature des risques à prendre en compte pour le PPRM ainsi que le périmètre sur lequel il doit porter ;

- *Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault). Synthèse de la phase informative en vue de la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers.* Rapport référencé INERIS-DRS-02-37673/R02 du 25 juillet 2002 [18].

Ce rapport synthétise l'ensemble des informations disponibles et observations de terrain nécessaires à la réalisation du PPRM. Il comprend une carte informative à l'échelle de 1/5000<sup>ème</sup>.

Le présent rapport définit et cartographie l'aléa. Il comprend trois cartes :

- une carte d'aléas « mouvements de terrains liés aux exploitations souterraines » à l'échelle de 1/5000<sup>ème</sup>, présentée en annexe 1 ;
- une carte d'aléas « mouvements de terrains liés aux travaux de surface » à l'échelle de 1/5000<sup>ème</sup>, présentée en annexe 2. Elle concerne, en particulier, le dépôt de stériles de la mine des Malines ;
- une carte d'aléa « émission de gaz de mine en surface » à l'échelle de 1/5000<sup>ème</sup>, présentée en annexe 3.

Le risque relatif aux impacts environnementaux a été analysé mais n'a pas fait l'objet d'une cartographie spécifique.

Ce rapport conclut la phase d'études préalables nécessaire à la réalisation du PPRM. La cartographie réglementaire et le règlement du PPRM seront à définir ultérieurement dans un autre cadre.

---

<sup>1</sup> Les numéros entre crochets correspondent au numéro d'ordre de la liste des références présentées au paragraphe 4.

## 2. DEFINITION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

---

### 2.1 RISQUE « MOUVEMENTS DE TERRAIN » LIES AUX EXPLOITATIONX SOUTERRAINES

#### 2.1.1 Généralités - Définitions

##### 2.1.1.1 Evénements redoutés

Les différents phénomènes ou événements redoutés, en matière de mouvement de terrains au-dessus d'exploitations souterraines, qu'il s'agisse de mines ou de carrières, sont :

- **les fontis :**

Ils correspondent au phénomène de remontée en surface du sol d'un éboulement initié dans une excavation souterraine (galerie, chambre ou carrefour de galeries). En effet, la rupture du soutènement ou du premier banc rocheux porteur du toit immédiat de l'excavation peut entraîner la formation d'une voûte. Si celle-ci n'est pas stable mécaniquement, elle remonte progressivement et, si l'espace disponible dans l'excavation est suffisant pour que les matériaux éboulés foisonnés puissent s'y accumuler sans bloquer le phénomène par « auto-comblement », la voûte atteint la surface du sol. Il se forme alors un cratère dont la forme et la taille dépendent de la nature des terrains de recouvrement. En général, le cratère peut avoir quelques mètres de diamètre. Ses bords peuvent être subverticaux ou, au contraire, pentés.

Alors que la remontée du fontis à travers les terrains de recouvrement est un processus généralement lent, l'apparition du cratère à la surface du sol est brutale et peut, de ce fait, présenter des conséquences graves pour les personnes et les biens situés dans son emprise ;

- **les effondrements localisés :**

Pour une exploitation partielle, la rupture (ou plus précisément, la ruine) d'un pilier ou de quelques piliers peut se traduire, en surface du sol, par un effondrement lorsque la profondeur des travaux est suffisamment faible. La dimension de la zone affectée en surface est généralement plus importante que celle résultant d'un fontis ;

- **les effondrements généralisés :**

Les effondrements généralisés se produisent dans des exploitations ayant laissé des vides résiduels, telles que les exploitations par chambres et piliers abandonnés. Ils correspondent à la rupture simultanée de nombreux piliers ou d'un banc raide au sein du recouvrement. Lorsque certaines conditions sont réunies, par exemple lorsque la profondeur des travaux n'est pas très élevée, comparée à la largeur totale de l'exploitation, l'effondrement peut se traduire par une soudaine descente de la surface du sol. Les conséquences en surface sont assez semblables, bien que plus étendues, à celles d'un effondrement localisé, sans compter les ondes vibratoires générées par ce phénomène ;

- **les affaissements :**

Dans les exploitations totales, où l'on extrait tout le minerai ou toute la substance, à partir de tailles, il se produit un affaissement des terrains surincombants qui remonte jusqu'à la surface du sol. L'amplitude de l'affaissement dépend de plusieurs facteurs dont la profondeur, l'ouverture de l'exploitation, le mode de traitement de l'arrière-taille (foudroyage ou remblayage), la lithologie et les propriétés mécaniques des terrains. Cet

affaissement, généralement “ souple ”<sup>2</sup>, lorsque la profondeur des travaux est grande, se produit essentiellement pendant l’exploitation et, dans une moindre mesure, peu de temps après l’arrêt des travaux. Des reprises d’affaissement peuvent toutefois avoir lieu longtemps après l’arrêt de l’exploitation dans des circonstances particulières rencontrées, par exemple, à la suite d’un débouillage de remblais, phénomène qui peut éventuellement se produire sous l’effet de l’engorgement. Enfin, en cas d’effondrement des piliers dans des exploitations partielles, il peut aussi se produire en surface, un affaissement du sol, lorsque la profondeur des travaux est suffisante.

A noter que des affaissements de terrain peuvent aussi se produire dans les zones bordant immédiatement une zone effondrée, du fait de la déconsolidation des terrains qu’un effondrement induit latéralement.

Les conséquences des affaissements de terrain sont, bien que réelles sur les bâtiments par exemple, nettement moins importantes pour les personnes et les biens comparés à celles des effondrements, qu’ils soient localisés ou généralisés ;

- **le débouillage d’un puits :**

Un puits de mine mal traité (c’est-à-dire non remblayé ou remblayé avec des matériaux qui peuvent être remobilisés, en présence d’eau par exemple au niveau de recettes) peut débouiller, c’est-à-dire voir son remblai s’écouler dans les ouvrages souterrains auquel il est raccordé. A ce débouillage peut être associé une rupture du revêtement du puits et un effondrement des terrains peu compétents, tels que les terrains superficiels généralement. Il se produit alors un cône d’effondrement dont les dimensions dépendent des caractéristiques géologiques et mécaniques locales des terrains. Il s’agit d’un phénomène analogue au phénomène de fontis.

#### 2.1.1.2 Détermination de l’aléa

Dans le domaine du risque naturel, et par extension dans celui des risques miniers, l’aléa résulte du croisement de l’intensité d’un phénomène redouté et de sa probabilité d’occurrence.

##### 2.1.1.2.1 Intensité

L’intensité est l’expression d’un phénomène redouté, évaluée ou mesurée par ses paramètres physiques. Pour le phénomène « fontis », il peut s’agir par exemple de son diamètre ou de sa profondeur. Pour le phénomène « affaissement », il peut s’agir de l’amplitude ou de la déformation maximale. Pour le phénomène « effondrement », il peut s’agir du volume de matériau effondré.

##### 2.1.1.2.2 Probabilité d’occurrence

La détermination de la probabilité d’occurrence des dégâts pose le difficile problème de la prévision dans le temps de la rupture des terrains. Si une approche probabiliste semble adaptée aux séismes et aux inondations qui sont souvent des phénomènes cycliques, les mouvements de terrain sont, au contraire, des phénomènes non périodiques qui évoluent de manière quasi imperceptible durant de longues périodes avant de subir une accélération soudaine. Ils sont donc très difficilement prévisibles.

---

<sup>2</sup> sans apparition de discontinuités en surface du sol, comme des fractures ouvertes.

Plutôt que d'estimer une probabilité d'occurrence correspondant à une période de retour donnée (annuelle, décennale, centennale...), qui laisserait une grande place à la subjectivité et à l'incertitude, l'approche de ce concept est menée en termes de prédisposition du site vis-à-vis d'un type donné de phénomène (rupture, affaissement ...).

Cette prédisposition est évaluée en fonction de paramètres caractérisant l'environnement du secteur considéré (topographie, épaisseur de recouvrement, présence de failles...) et la technique d'exploitation utilisée (galeries, chambres et piliers abandonnés...), autant de facteurs exprimant la prédisposition d'un site. La détermination de cette sensibilité s'appuie sur l'analyse des scénarios et mécanismes de rupture susceptibles d'affecter les cavités souterraines.

Pour chaque secteur exploité, les différents phénomènes susceptibles d'affecter la stabilité mécanique des terrains de surface se voient donc attribuer une probabilité d'occurrence spécifique (par exemple, les probabilités que se produise, dans une zone donnée de la surface, un effondrement généralisé et un affaissement progressif ne sont pas identiques).

Quatre classes de probabilité d'occurrence sont ainsi souvent définies : négligeable, faible, moyenne et forte.

#### 2.1.1.2.3 Aléa

Le niveau d'aléa est ensuite obtenu par combinaison des deux niveaux d'intensité et de probabilité d'occurrence. On aboutit souvent à cinq classes d'aléa : négligeable, faible, moyen, fort, très fort, mais il est également possible de proposer des classes intermédiaires.

Cette approche est appliquée séparément à chacun des différents secteurs géographiques à étudier en fonction de leur configuration (qui est le résultat du type d'exploitation, épaisseur et nature des terrains de recouvrement, etc.), en se plaçant dans une perspective de comportement à long terme. Il est entendu que si, pour un même secteur, plusieurs phénomènes de nature différente sont redoutés, on évalue l'aléa correspondant à chaque phénomène redouté et on retient alors celui qui conduit au niveau d'aléa le plus élevé.

Cette caractérisation a pour objectif de hiérarchiser les niveaux d'aléa s'appliquant aux différentes configurations. Les termes « aléa fort » ou « aléa très fort » signifient que les zones concernées sont plus prédisposées à l'apparition de dégradations en surface que les zones « d'aléa moyen » ou « aléa faible ».

Cette approche demeure cependant **relative** au cas étudié. Les types de désordres prévisibles dans les différentes zones constituant une exploitation donnée pourraient en effet induire un niveau d'aléa moindre sur d'autres sites où les exploitations souterraines présentent des configurations plus défavorables.

#### 2.1.1.2.4 Marges

Il est également important de considérer, dans l'analyse, outre les zones directement soumises par les travaux miniers, celles situées en bordure, comme cela a déjà été dit.



Pour les exploitations partielles et les ouvrages d'infrastructure (puits, galeries), on distingue, par rapport à l'emprise stricte des travaux miniers une marge de sécurité englobant :

- l'incertitude qui peut exister sur la position des travaux. Ses dimensions sont à adapter en fonctions des contextes géologiques et d'exploitation ;
- une marge correspondant à l'extension latérale de la fracturation éventuelle en surface du sol<sup>3</sup>.

Souvent, par simplification, la largeur de cette marge est fixée de manière forfaitaire. Le niveau d'aléa affecté à cette bande de terrain est identique à celui des terrains voisins situés à l'aplomb des travaux souterrains ;

Dans le cas d'exploitations totales mais aussi pour les exploitations partielles par chambres et piliers abandonnés situés à une profondeur suffisante, il se forme en surface une cuvette d'affaissement dont l'extension est plus grande que l'emprise stricte des travaux. L'extension maximale des affaissements de la surface du sol est délimitée à partir d'un angle appelé angle d'influence, formé par la verticale élevée dans un plan perpendiculaire en un point situé à la limite des travaux et la ligne qui joint ce point à celui de la surface où les mouvements deviennent négligeables. Les mouvements de surface les plus dommageables pour le bâti peuvent être rencontrés en bordure de la cuvette d'affaissement dus à la mise en pente du sol, à sa courbure et surtout au différentiel de déplacement horizontal. Dans ce cas, le niveau d'aléa pourrait être plus fort en bordure des zones influencées par rapport au centre de la cuvette d'affaissement. Dans la mesure où il est difficile de dissocier ces zones, on applique le même niveau d'aléa à l'ensemble des zones influencées.

### 2.1.1.3 Cartographie de l'aléa

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

## 2.1.2 Application à l'exploitation de plomb-zinc des Malines

### 2.1.2.1 Rappels des principales caractéristiques de l'exploitation souterraine des Malines et de son environnement

L'analyse informative, qui a fait l'objet d'un rapport spécifique [18], a permis de décrire de façon relativement détaillée l'exploitation souterraine de la mine de Malines. Nous rappelons ici ses caractéristiques principales :

- l'essentiel des travaux souterrains a été réalisé de 1880 à 1991, date de l'arrêt définitif de l'exploitation par METALEUROP. Seules quelques zones d'exploitation plus anciennes, d'extension limitée, ont été recensées ;

---

<sup>3</sup> L'extension latérale correspond à l'angle de fracture des terrains de recouvrement compté par rapport à la verticale à partir du bord de l'excavation, dans le cas de phénomènes d'effondrement généralisés. Dans le cas d'un fontis, l'extension latérale correspond à l'angle du talus du cône d'effondrement.

- les gisements exploités se localisent :
  - dans les calcaires du Bathonien. Dans ce cas, il s'agit de gisements stratiformes d'une dizaine de mètres d'épaisseur en moyenne. L'encaissant et les terrains de recouvrement sont constitués uniquement de calcaires et dolomies
  - dans les dolomies ou calcschistes du socle cambrien. Il peut s'agir de minéralisations en amas, stratoïdes ou encore fissurales. La puissance des gisements est très variable en fonction des configurations. Elle a généralement une dizaine de mètres et peut atteindre localement une centaine de mètres dans le cas de minéralisation fissurales. Les terrains de recouvrement sont constitués soit uniquement par les formations du socle, soit par les marnes triasiques et les calcaires et dolomies du Bathonien ;
  - en couches de quelques mètres d'épaisseur dans les marnes triasiques. Les terrains de recouvrement sont constitués soit uniquement des marnes du Trias, soit des marnes et des formations du Bathonien ;
- la profondeur des gisements est très variable, de moins de 50 m à plus de 400 m. La majeure partie des travaux est toutefois située à des profondeurs supérieures à 100 m ;
- les gisements possèdent globalement une organisation en chapelet caractéristique de ce type de gisement métallique. Il n'existe pas de continuité du gisement dans une même formation sur de grandes surfaces. Il en résulte des dimensions de panneaux exploités, au plus, critiques et, très souvent, sous-critiques<sup>4</sup> ;
- les méthodes d'exploitation employées sont nombreuses et révélatrices de la complexité des gisements. Elles possèdent toutefois deux caractéristiques communes essentielles :
  - il s'agit toujours de variantes de méthodes montantes remblayées, le remblai étant constitué par du stérile d'avancement (chambres et piliers, tranches horizontales, tailles grillagées, tailles en arêtes de poisson). On notera toutefois que la méthode par tailles foudroyées a été mise en œuvre très localement dans les marnes du Trias ;
  - à l'exception d'une partie de l'exploitation de Montdardier, située sous et à proximité du village, il reste une ouverture résiduelle de 3 m dans tous les quartiers exploités ;
- deux types d'ouvrages au jour sont distingués : les galeries à flanc de coteau et les cheminées d'aéragé. Aucun puits d'exploitation n'a été foncé.

#### 2.1.2.2 Analyse globale

Compte tenu de la complexité et la variabilité des types de gisement de plomb-zinc exploités, il est difficile de dégager quelques configurations types d'exploitation bien distinctes. Nous avons donc d'abord analysé les phénomènes redoutés qu'il convenait de retenir à l'échelle de l'ensemble du secteur exploité des Malines. Les résultats de cette analyse globale, par phénomènes redoutés, sont ensuite déclinés par secteur d'exploitation en tenant compte de la spécificité de chaque site. Nous nous sommes appuyés sur :

---

<sup>4</sup> Cette notion revient à comparer la profondeur aux dimensions des panneaux exploités. Une exploitation est dite sous-critique lorsque ses dimensions sont largement inférieures à sa profondeur.

- le recensement et la description des secteurs exploités. On se référera pour une description détaillée au rapport de synthèse de la phase informative (INERIS-DRS-02-37673/R02) [18] ;
- les observations de terrain réalisées dans le cadre de cette étude ;
- les deux rapports d'expertise du dossier d'arrêt de METALEUROP de MM. Duchène et Duffaut, respectivement sur la stabilité à long terme de l'édifice minier des Malines [2a] et sur l'état du toit et des piliers du quartier de Montdardier [2b] ;
- des calculs complémentaires sur les hauteurs de remontée de fontis et le risque de rupture des piliers.

#### a) Effondrement

L'analyse globale de la stabilité à long terme de l'édifice minier de la mine des Malines, réalisée dans le cadre du dossier d'arrêt, par l'Ecole des Mines de Paris (Duchène, 1994 [2a]) a conclu qu'il n'y avait pas lieu de retenir l'éventualité d'un effondrement généralisé et ceci, quelles que soient les configurations d'exploitations. Cette analyse se base, pour partie, sur des constatations et des mesures dont nous n'avons pas eu connaissance au cours de l'analyse informative (mention d'un rapport de 1989 sur l'exploitation « Vieille Mine »). Les arguments avancés par M. Duchène sont convaincants et nous les reprenons à notre compte ci-après. Pour être totalement conclusifs, nous les avons toutefois complétés par des calculs de stabilité des piliers.

Deux catégories de cavités souterraines peuvent être distinguées à l'échelle de l'exploitation des Malines :

##### Les cavités refermées ou qui se refermeront progressivement :

- les premières correspondent aux exploitations dans les marnes et à l'interface marne-socle à Vieille Mine pour lesquelles M. Duchène indique que les travaux se sont refermés progressivement sans provoquer de dégâts dans les calcaires sus-jacents ;
- les secondes correspondent à l'exploitation d'Espérance, dans le secteur Vieille Mine, qui s'est poursuivie jusqu'en 1991. Cette exploitation a été dimensionnée par bandes de 100 m de largeur de façon à limiter les contraintes dans les chantiers, la profondeur des travaux étant de l'ordre ou supérieure à 300 m. M. Duchène indique que des mesures ont montré que les piliers se tassaient régulièrement. Seule une ouverture de 3 m a été laissée au toit de l'exploitation. Il est donc vraisemblable que les piliers vont continuer à se tasser et seront accompagnés du foudroyage des marnes du toit sur quelques dizaines de mètres de hauteur et le foisonnement bloquera toute progression de celui-ci dans la puissante formation calcaire sus-jacente. Dans ce cas, la déconsolidation des terrains ne pourrait se traduire, tout au plus, en surface que par de très légers affaissements. Ceci est discuté dans le paragraphe (c) relatif à l'aléa affaissement.

##### Les cavités dont la stabilité peut être assurée à long terme.

Il s'agit de celles des chantiers dans le socle (Sanguinède et Vieille Mine), dans le Bathonien (Vieille Mine) et dans les conglomérats situés à l'interface marnes-socle (Montdardier et Recherche 102).

A Vieille Mine, les chantiers sont de faible extension et il y a toujours eu remblayage, la dernière tranche restant ouverte sur 3 m. Les exploitations dans le Bathonien ont été réalisées dans un encaissant de bonne tenue et sous un fort recouvrement jurassique. Ils n'ont jamais donné lieu à des instabilités (Duchène, 1994). Leurs dimensions réduites (de l'ordre de la moitié de la hauteur de recouvrement) font écarter tout risque d'effondrement généralisé.

A Montdardier, une partie des travaux, située à proximité et sous le village, a été remblayée et clavée à l'arrêt de l'exploitation. L'autre partie située, sous un recouvrement de marnes triasiques de 50 à 100 m d'épaisseur, a été remblayée en laissant une ouverture résiduelle de 3 m. Tous les travaux ont été conduits par la méthode des chambres et piliers. Nous disposons, pour cette zone, de nombreuses données de résistance mécanique du matériau des piliers (voir rapport INERIS-DRS-02-37673/R02 [18]) qui nous permettent d'estimer un facteur de sécurité pour la résistance à long terme des piliers. Pour se placer du côté de la sécurité, nous avons estimé la valeur de leur résistance ultime, encore appelée résistance à long terme, en se basant sur la limite d'élasticité des matériaux constituant les piliers et non sur la résistance maximale. La résistance ultime peut être déterminée à partir de la formule suivante :

$R_u = L_e - K\sigma_{Le}$  avec  $L_e$  : limite élastique,  $\sigma_{Le}$  : écart-type et  $K$  : coefficient traduisant la probabilité d'occurrence de  $R_u$ .

Sur la base d'une distribution gaussienne, en prenant  $K = 1,3$ , ce qui correspond à une probabilité de 90 %, soit 10 % de risque, on obtient une résistance ultime pour les matériaux des piliers de l'exploitation de Montdardier :

$$R_u = 14,2 \text{ MPa}$$

Par ailleurs, pour une profondeur moyenne  $H$  de 75 m et une valeur du taux de défruitement  $\tau$  (obtenue à partir des plans), de 75 %, on peut estimer la valeur de la contrainte verticale s'exerçant en moyenne dans les piliers :

$\sigma_p = \gamma H / (1-\tau)$   $\sigma_p$  : sollicitation du pilier obtenue par la méthode de l'aire tributaire en considérant un poids spécifique des terrains ( $\gamma$ ) de 24 kN/m<sup>3</sup>, ce qui est relativement élevé dans le contexte.

Le facteur de sécurité ( $F_p$ ) se déduit alors aisément du ratio :

$$F_p = R_u / \sigma_p.$$

Il est égal à 2 pour les piliers de l'exploitation de Montdardier.

Ces conclusions nous permettent d'écarter tout risque d'effondrement généralisé pour l'exploitation de Montdardier. Elles sont également valables pour l'exploitation du quartier Recherche 102, dont nous ne possédons pas de valeurs de caractéristiques mécaniques mais dont la configuration est similaire (même schéma de dimensionnement et nature des piliers).

A Sanguinède, plusieurs méthodes d'exploitation ont été mises en œuvre. Elles ont toutefois nécessité systématiquement un remblayage, laissant, comme dans les autres secteurs, 3 m d'ouverture résiduelle. Les panneaux exploités sont de faible extension horizontale (de l'ordre de 100 m ou moins) sous un recouvrement de calcschistes de 130 à 180 m pour l'essentiel. Comme à Montdardier, des mesures de résistance mécanique sur les matériaux des piliers ont été réalisées. Le même calcul que celui effectué pour le secteur de Montdardier conduit à obtenir un coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture des piliers égale à 1,7 pour une profondeur moyenne de 150 m et un taux de défrètement de 61 % (valeur réelle calculée par l'exploitant). Ces résultats nous permettent également d'écarter tout risque d'effondrement généralisé pour ce secteur.

Sur la base de cette analyse, nous n'avons donc pas retenu l'effondrement généralisé comme phénomène redouté à l'échelle de l'ensemble de l'exploitation de Pb-Zn des Malines.

## b) Fontis

Bien qu'aucun fontis n'ait été recensé sur l'ensemble du secteur exploité, il demeure qu'il subsiste, à l'échelle de l'ensemble du domaine exploité, de nombreux vides qui ne permettent pas d'exclure, à terme, l'initiation et l'apparition au jour de fontis dans les zones de travaux situés à faible profondeur. On signalera notamment, que l'expertise des travaux de Montdardier, réalisée par Duffaut [2b] en 1991, mentionnait l'existence de chutes du toit marneux dans certains carrefours de l'exploitation. Le fontis peut donc bien être initié localement au fond.

Nous avons estimé quelle pouvait être la hauteur maximale de remontée de fontis à l'aplomb de vides résiduels. Deux configurations ont été étudiées, celle de galeries isolées et celles de carrefours de galeries correspondant aux exploitations par chambres et piliers abandonnés.

Pour cela, nous avons utilisé un modèle de calcul prenant en compte en particulier les caractéristiques géométriques des vides résiduels, le coefficient de foisonnement et l'angle de talus naturel des terrains de couverture<sup>5</sup>.

Le calcul est fait sur une base volumétrique (volume de fontis majoré du foisonnement égal au volume du talus formé par le fontis) en faisant l'hypothèse d'un fontis qui s'amorce :

- au toit d'une galerie ;
- à un carrefour de deux galeries perpendiculaires ;

Deux natures de terrain de recouvrement ont été considérées :

- marnes. Il s'agit de simuler les hauteurs de remontées de fontis à l'aplomb d'exploitation par chambres et piliers ou de galeries dont le recouvrement est uniquement constitué de marnes du Trias. Cette configuration existe notamment dans le secteur de Montdardier et une partie de Vieille Mine ;
- dolomie. Dans ce cas, la simulation concerne les travaux dont le recouvrement est uniquement constitué de dolomie. Cette configuration existe à Vieille Mine pour les travaux dans le Bathonien ou encore à Sanguinède.

---

<sup>5</sup> Voir Mémoire de DEA de l'Ecole Centrale de Paris. R. Salmon. INERIS. 1998.



La configuration intermédiaire où le recouvrement est constitué de marnes puis de dolomie n'a pas été analysée. Les résultats seraient encadrés logiquement par ceux des deux configurations précédentes.

Pour les galeries, nous avons fait varier leurs dimensions sur la base des valeurs extrêmes, de hauteur et de largeur, recensées par METALEUROP dans son dossier.

Pour les exploitations par chambres et piliers, nous avons retenu des largeurs de chambres représentatives de l'ensemble des panneaux exploités (5 à 6 m) et considéré qu'il existait une hauteur de vide résiduel de 3 m.

Les valeurs des coefficients de foisonnement retenues sont issues de la classification R.T.R<sup>6</sup>.

L'expérience montre que les fontis s'initient sur une largeur légèrement inférieure à la largeur totale de la galerie. Pour rester du côté de la sécurité, nous avons fait varier le rayon du fontis dans une gamme de 70 à 90 % du rayon maximum possible tout en restant dans une gamme réaliste pour l'initiation d'un fontis.

Les résultats des hauteurs potentielles de remontée de fontis à l'aplomb de galeries sont présentés dans les tableaux 1 et 2, ceux pour les chambres et piliers dans le tableau 3.

*Tableau 1 : Hauteurs maximales de remontée de fontis à l'aplomb de galeries – recouvrement constitué de marnes*

Dimensions de galerie (H x L)	2 m x 2 m	3 m x 5 m	5 m x 5 m
Coefficient de foisonnement	1,3		
Angle de talus naturel	35°		
Hauteur de remontée du fontis <sup>(1)</sup>	23 à 35 m	26 à 38 m	58 à 87 m

(1) fonction du rayon du fontis

*Tableau 2 : Hauteurs maximales de remontée de fontis à l'aplomb de galeries – recouvrement constitué de dolomies*

Dimensions de galerie (H x L)	2 m x 2 m	3 m x 5 m	5 m x 5 m
Coefficient de foisonnement	1,4		
Angle de talus naturel	40°		
Hauteur de remontée du fontis <sup>(1)</sup>	16 à 23 m	18 à 25m	39 à 60 m

(1) fonction du rayon du fontis

<sup>6</sup> Recommandations pour les Terrassements Routiers (RTR). SETRA et LCPC.1976.



*Tableau 3 : Hauteurs maximales de remontée à l’aplomb des carrefours de chambres et piliers en fonction de la nature de terrains de recouvrement et de la largeur des chambres (ouverture des travaux de 3 m).*

Recouvrement	Marnes	Dolomies
Coefficient de foisonnement	1,3	1,4
Remontée de fontis pour une galerie de 5 m de large <sup>(1)</sup>	27 à 43 m	18 à 27 m
Remontée de fontis pour une galerie de 6 m de large <sup>(1)</sup>	21 à 45 m	15 à 29 m

(1) fonction du rayon du fontis

Les résultats indiquent que le phénomène de fontis peut être retenu, quelles que soient les configurations étudiées, à l’aplomb de travaux situés à moins de 50 m de profondeur et éventuellement à l’aplomb de galeries principales (5 m de hauteur) dont la profondeur se situerait entre 50 et 70 m.

Dans la mesure où il n’y a pas de fontis connus à l’aplomb des travaux miniers, la probabilité d’occurrence d’un tel phénomène ne peut être jugée que faible à moyenne, tout au plus, sur l’ensemble du domaine minier.

Pour les zones de travaux, deux classes d’aléa ont été distinguées. Elles ont été définies en considérant uniquement un recouvrement de marnes, ce qui va dans le sens de sécurité du fait du coefficient de foisonnement plus faible des marnes. Il est en effet difficile, compte tenu de la complexité de l’organisation des travaux et des variations importantes de leur profondeur, de distinguer sans ambiguïté les zones où le recouvrement est constitué uniquement de dolomie ou de marnes. On notera toutefois que la majeure partie des zones de travaux où l’aléa fontis a été considéré possède un recouvrement de marnes. Les deux classes retenues sont les suivantes :

- à moins de 50 m, nous retiendrons une probabilité d’occurrence du phénomène fontis moyenne et l’aléa correspondant est alors moyen ;
- entre les profondeurs de 50 et 70 m, l’occurrence d’un fontis est peu probable mais ne peut pas être écartée dans la mesure où certains vides résiduels pourraient être supérieurs à 3 m d’ouverture après tassement des remblais, ce qui conduirait à augmenter les hauteurs potentielles de remontée de fontis. On notera toutefois que l’exploitation s’effectuait toujours en montant sur les remblais. Une partie du tassement était donc déjà réalisée à l’arrêt des chantiers. Pour ces zones de travaux, la probabilité d’occurrence du phénomène fontis est ainsi jugée faible et l’aléa correspondant est alors faible. Au-delà de 70 m de profondeur, le phénomène fontis n’est plus considéré ;

Pour les galeries isolées :

- à moins de 50 m de profondeur, nous avons retenu une probabilité d’occurrence moyenne pour le phénomène fontis et un aléa correspondant moyen et ceci quelle que soit la nature du recouvrement<sup>7</sup> ;

<sup>7</sup> Pour deux configurations particulières (voir § 2.1.2.3 ci-après), l’aléa fontis a été jugé faible.

- au-delà, de 50 à 70 m de profondeur, nous avons retenu le phénomène fontis uniquement pour les galeries principales dont le recouvrement est constitué de marnes. La probabilité d'occurrence de ce phénomène fontis est jugée faible et l'aléa correspondant également faible.

### c) Affaissement

Pour l'exploitation des Malines, le phénomène d'affaissement peut être retenu dans les configurations suivantes :

- à l'aplomb des zones où l'exploitation a été totale. Pour ce type d'exploitation, l'expérience montre que l'affaissement est pratiquement stabilisé au bout de cinq années environ<sup>8</sup>. Cette configuration ne concerne que les gisements en couche dans le quartier Albys à Vieille Mine. Dans ce secteur, M. Duchène [2a] indique que les travaux se sont refermés sans provoquer de dégâts dans les calcaires sus-jacents. Ces travaux ayant été réalisés dans les années 1950 – 1960, on peut considérer que l'affaissement est aujourd'hui stabilisé. La situation hydrogéologique étant, elle aussi, stabilisée, on peut considérer qu'il n'existe plus de possibilités de reprise d'affaissement. Toutefois, l'existence d'exploitations partielles non entièrement remblayées, sous-minant localement les zones d'exploitation totale, ne nous permet pas d'exclure totalement l'occurrence de phénomènes de reprise d'affaissement liés à la fermeture progressive des vides résiduels et à la remobilisation des terrains sus-jacents déjà déconsolidés.

Toutefois, la probabilité d'occurrence de tels phénomènes est jugée faible et l'aléa correspondant est donc également faible ;

- à l'aplomb des exploitations partielles. Il s'agit de l'essentiel des zones exploitées aux Malines. Elles sont rencontrées à des profondeurs variant d'une cinquantaine de mètres pour les plus superficielles à 400 m pour les plus profondes. Le remblayage des chantiers a été soit total, soit partiel, laissant une ouverture résiduelle de 3 m.

*Remblayage partiel.* A grande profondeur, le tassement des piliers ou encore les remontées de fontis occasionneront une déconsolidation des terrains sus-jacents qui ne pourront se traduire, tout au plus, en surface que par de légers affaissements. A plus faible profondeur, le tassement des piliers devient peu probable compte tenu de la grande résistance mécanique des matériaux qui le constituent. Dans ces conditions, seules des chutes de toit et l'initiation de phénomènes de fontis sont susceptibles d'intervenir. Cela se traduira soit par l'apparition au jour de fontis dont la probabilité d'occurrence a déjà été étudiée, soit par la fermeture des vides résiduels par auto-comblement. Dans ce dernier cas, le tassement des terrains de recouvrement pourrait entraîner également, tout au plus, de légers affaissements en surface, probablement non perceptibles.

Quelle que soit la profondeur, la probabilité d'occurrence du phénomène affaissement, à l'aplomb de zone où le remblayage a été partiel, est jugée faible. L'aléa correspondant est alors lui aussi faible.

---

<sup>8</sup> Voir J.P. Piguet et F. Wojtkowiak. « Affaissements et déformations au-dessus des exploitations minières : mécanismes et évolution dans le temps ». Revue « Mines et Carrières : les techniques ». Vol. 82. Juin 2000. pp 36-47.

*Remblayage total* : cette configuration n'existe qu'à Montdardier, à proximité et sous le village. Dans ce cas, la probabilité d'occurrence du phénomène affaissement en surface est jugée très faible à négligeable et l'aléa correspondant négligeable. Seuls le tassement des remblais ou encore une exécution imparfaite du remblayage pourrait être à l'origine de très légers affaissements en surface très probablement non perceptibles. Rappelons que le nivellement de la surface réalisé pendant la phase d'exploitation du secteur Montdardier n'a jamais mis en évidence de mouvements imputables aux travaux miniers souterrains.

#### **d) Débouillage des cheminées**

Parmi les ouvrages débouchant au jour, le cas des galeries a déjà été traité en considérant le risque de fontis.

Les cheminées d'aérage ont toutes été mises en sécurité par remblayage total. Elles possèdent une section variant de 1 à 6 m<sup>2</sup>. Le risque de débouillage, dont la conséquence serait assimilable à celle d'une remontée de fontis en surface, est peu probable, d'autant plus que la situation hydrogéologique est maintenant stabilisée. La probabilité d'occurrence d'un tel phénomène est donc jugée faible mais non négligeable pour tenir compte de traitements éventuellement localement mal exécutés. L'aléa correspondant est donc faible. Notons que toutes ces cheminées se localisent dans des zones où les travaux se situent à moins de 50 m et pour lesquelles, selon la configuration, l'aléa fontis est faible à moyen, donc au moins équivalent.

#### **e) Marges**

En ce qui concerne les marges, nous avons appliqué un angle unique d'influence limite des effets possibles en surface de 30° (par rapport à la verticale) quels que soient les configurations d'exploitation et le type de risque considéré (fontis ou affaissement).

Pour les exploitations totales, l'angle d'influence retenu varie, en règle générale, de 30 à 35° en fonction de la nature du recouvrement. Dans le cas des Malines, les méthodes d'exploitations mises en œuvre sont partielles dans la quasi-totalité des cas. Or, pour des exploitations partielles, l'angle d'influence est plus faible que celui retenu pour les exploitations totales. Nous avons toutefois appliqué un angle de 30° pour être suffisamment globalisants et sécuritaires.

#### **2.1.2.3 Cartographie des aléas relatifs aux exploitations souterraines**

La carte d'aléa correspondant aux seuls risques retenus dans le cas des exploitations souterraines des Malines, c'est-à-dire le fontis (et, par assimilation, le débouillage de cheminées) et l'affaissement, est donnée en annexe 1.

Cette carte d'aléa a été réalisée à l'échelle de 1/5000<sup>ème</sup> sur le fond topographique de l'IGN (carte au 1/25000<sup>ème</sup> agrandie).

L'aléa « affaissement » est cartographié en vert : le vert le plus foncé correspond au niveau d'aléa faible et le plus clair au niveau d'aléa très faible.

L'aléa « fontis » a été cartographié par des hachures marron foncé pour l'aléa moyen et marron clair pour l'aléa faible. Ces hachures et couleurs autorisent des superpositions avec les zones d'aléa « affaissement ».

Dans ce qui suit, nous décrivons par secteur d'exploitation les niveaux d'aléa retenus pour chaque risque considéré. La description précise des caractéristiques de chaque zone de travaux est présentée dans le rapport de synthèse de la phase informative (INERIS-DRS-02-37673/R02). La justification de l'aléa pour chaque configuration principale d'exploitation a été définie au paragraphe précédant 2.1.2.2. Seuls quelques éléments descriptifs permettant une meilleure compréhension des niveaux d'aléa retenus sont repris dans ce paragraphe par secteur d'exploitation.

### Secteur Vieille Mine

Dans ce secteur, les trois types de minéralisation, dans le socle dolomitique, dans les marnes triasiques et dans les calcaires du Bathonien, ont été exploités. Les travaux ont été réalisés depuis les affleurements jusqu'à 400 m de profondeur environ. De nombreuses méthodes d'exploitation, quasiment toutes des variantes de méthodes montantes remblayées, ont été mises en œuvre (tranches montantes et chambres et piliers remblayées). Localement et exclusivement dans les marnes du Trias, des méthodes d'exploitation totale (tailles remblayées) ont été employées. Tous les chantiers exploités par les méthodes montantes remblayées ont laissé vide la dernière tranche exploitée sur une hauteur de 3 m.

Nous avons déterminé un niveau d'aléa fontis moyen pour les travaux situés à moins de 50 m de profondeur et faible pour ceux situés entre 50 et 70 m. Ces niveaux d'aléa tiennent compte de l'ouverture systématique de 3 m de la dernière tranche exploitée de chaque quartier.

A l'Ouest du secteur Vieille Mine, nous avons étendu la zone d'aléa à fontis moyen au-delà de la limite des travaux à moins de 50 m de profondeur pour englober les orifices miniers situés dans la zone de travaux à plus de 50 m de profondeur.

La zone des trois galeries situées au Nord-Est de Font Bonne a été classée en fontis moyen. L'aléa affaissement n'a pas été retenu pour cette zone compte tenu de l'extension et de la profondeur probablement très limitée des travaux. En effet, seuls les orifices miniers sont mentionnés.

Partout ailleurs dans le secteur Vieille Mine, un niveau d'aléa affaissement faible a été retenu quelle que soit la profondeur. Il intègre deux configurations :

- à faible profondeur, l'existence d'exploitations partielles non entièrement remblayées, sous-minant localement les zones d'exploitation totale, ne nous permet pas d'exclure totalement l'occurrence de phénomènes de reprise d'affaissement liés à la fermeture progressive des vides résiduels et à la remobilisation des terrains sus-jacents déjà déconsolidés. Cette configuration ne pourrait occasionner, tout au plus, que de très légers affaissements en surface ;
- à des profondeurs plus importantes, seules des exploitations partielles sont rencontrées. Le tassement des piliers ou encore les remontées de fontis occasionneront une déconsolidation des terrains sus-jacents qui ne pourront se traduire, tout au plus, en surface que par de légers affaissements.



### Caucanas

Il s'agit des travaux situés au Sud de Vieille Mine. Pour ceux-ci, nous avons distingué :

- les zones des deux orifices situés en rive gauche du Gasson pour lesquels seul un aléa fontis moyen a été retenu. Il ne s'agit a priori que de galeries de recherche. Nous avons étendu assez largement la zone où s'applique l'aléa afin de tenir compte de l'incertitude de positionnement des galeries ;
- la zone des travaux située en rive droite du Gasson, pour laquelle deux orifices de galerie débouchant dans le vallon du Gasson sont identifiés. Les travaux sont suggérés par la trace de quelques galeries sur les plans généraux d'exploitation. Leur profondeur est estimée entre 100 et 200 m. Un aléa fontis moyen a été retenu à proximité des deux orifices débouchant au jour pour une profondeur estimée à moins de 50 m. Au-delà, compte tenu de la profondeur, seul un aléa affaissement faible a été retenu.

### Tunnels sous le dépôt de stérile

Les tunnels de dérivation des eaux amonts du dépôt de stériles se situent à moins de 50 m de profondeur mais possèdent une section plus faible (de l'ordre de 6 m<sup>2</sup>) que celle des galeries les plus petites du domaine minier. Pour cette raison, nous avons retenu un aléa fontis faible, contrairement aux galeries de mine isolées pour lesquelles l'aléa fontis a été jugé moyen dans cette gamme de profondeur.

### Secteur Montdardier

Le Secteur Montdardier comprend les quartiers Montdardier Nord et Sud, la Gardie et Recherche 102. Une partie des travaux, située à proximité et sous le village, a été remblayée et clavée à l'arrêt de l'exploitation. L'autre partie, située sous un recouvrement de marnes triasiques de 50 à 100 m d'épaisseur, a été remblayée en laissant une ouverture résiduelle de 3 m. Tous les travaux ont été conduits par la méthode des chambres et piliers.

Dans ce secteur, nous avons retenu, pour les travaux remblayés avec une ouverture résiduelle de 3 m :

- un niveau d'aléa fontis moyen pour tous les travaux situés à moins de 50 m de profondeur ;
- un niveau d'aléa fontis faible pour les travaux situés entre 50 et 70 m de profondeur ;
- un niveau d'aléa affaissement faible pour tous les travaux non remblayés totalement, à l'exception d'une zone de travaux très réduite pour laquelle l'aléa affaissement n'a pas été retenu car elle correspond a priori uniquement à quelques galeries. Cette dernière zone est située à l'Est du quartier Recherche 102 et au Nord de Vieille Mine ;

Pour les travaux remblayés totalement sous et à proximité du village :

- un niveau d'aléa affaissement négligeable. Seuls le tassement des remblais ou encore une exécution imparfaite du remblayage pourrait être à l'origine de très légers affaissements en surface certainement non perceptibles.

### Sanguinède

L'essentiel des travaux de Sanguinède se situe à des profondeurs variant entre 130 et 180 m. Localement, les travaux à l'Ouest (Les Beaumettes) et à l'Est de la zone se situent à des profondeurs variant entre 50 et 100 m. L'exploitation a été effectuée selon différentes méthodes (tailles en arrête de poisson, tailles grillagées, tranches montantes, chambres et piliers) nécessitant un remblayage systématique, laissant, là encore, une dernière tranche ouverte sur une hauteur de 3 m.

Comme à Montdardier et à Vieille Mine, nous avons retenu un niveau d'aléa fontis moyen pour les travaux situés à moins de 50 m de profondeur et faible pour ceux situés entre 50 et 70 m de profondeur. A noter que la zone des travaux des Boissières pour laquelle nous n'avons pas d'indication de profondeur a été classée avec un niveau d'aléa fontis moyen.

Pour l'affaissement, un niveau d'aléa faible a été retenu pour l'ensemble des zones de travaux. Ce classement tient compte de la possibilité de tassement des piliers ou encore de remontées de fontis occasionnant une déconsolidation des terrains sus-jacents. Ces événements ne pourront se traduire, tout au plus, en surface que par de légers affaissements.

Pour les zones correspondant aux orifices débouchant au jour situées en dehors de l'emprise principale des travaux et à moins de 50 m de profondeur, seul un aléa fontis moyen a été retenu. Il s'agit de galeries isolées possédant un recouvrement de dolomie, configuration pour laquelle l'aléa fontis n'a été considéré que jusqu'à 50 m de profondeur (voir §2.1.2.2. b) fontis).

### Mas Lacombe

A Mas Lacombe, l'ensemble des zones supposées de travaux a été classé en aléa fontis moyen. Ce classement tient compte du constat de galeries ouvertes et de travaux probablement peu profonds. D'après les observations réalisées sur le terrain, ces travaux, probablement très anciens et pour lesquels nous ne disposons d'aucun plan, semblent avoir été très réduits. Nous avons cependant étendu assez largement la zone où s'applique l'aléa afin de tenir compte de l'incertitude de positionnement des galeries.

### Avinières et Ferrières

Aux Avinières et à Ferrières, les gisements ont été exploités à ciel ouvert. Nous avons cependant retenu un aléa fontis faible pour tenir compte :

- de la mention de l'existence d'un travers-bancs sur une coupe du gisement (voir rapport de la phase informative [18]). Cet ouvrage n'ayant pas été localisé, l'aléa fontis a été appliqué à toute la zone supposée de travaux ;
- de la possibilité de travaux d'exploitation du fer à Ferrières pour lesquels nous n'avons aucune indication mais qui pourraient avoir fait l'objet de travaux souterrains en galeries. De la même façon, sans autres indications, l'aléa fontis a été appliqué à toute la zone supposée de travaux.

## 2.2 RISQUE « ÉMISSION DE GAZ DE MINE » LIÉE AUX EXPLOITATIONS SOUTERRAINES

Il n'existe aucune information sur le gaz de mine relatif à l'exploitation des Malines.

Les données hydrogéologiques indiquent qu'une partie seulement des travaux de l'exploitation des Malines est ennoyée (l'ennoyage intégral est une condition nécessaire pour empêcher toute migration de gaz vers la surface). On peut estimer à plus de 50 % les travaux non ennoyés et qui resteront ennoyés à l'avenir sur l'ensemble de l'exploitation. Le risque d'émission de gaz de mine doit donc être considéré puisque les travaux ne sont pas ennoyés.

Compte tenu de la nature du gisement exploité et des roches encaissantes, seule l'existence de dioxyde de carbone, d'air désoxygéné, de sulfure d'hydrogène ou éventuellement de radon pourrait présenter un problème.

D'une manière générale, on considère que les travaux non ennoyés situés à des profondeurs inférieures à 200 m<sup>9</sup> sont susceptibles d'émettre du gaz de mine en surface. Cette valeur est liée à l'augmentation de la perméabilité des terrains de recouvrement déstructurés par l'exploitation (il s'agit du cas d'une exploitation totale par taille, le plus défavorable de ce point de vue).

Dans le contexte des Malines, les travaux situés à moins de 200 m de profondeur correspondent à :

- l'ensemble des secteurs Montdardier et Sanguinède ;
- une partie des travaux de Vieille Mine ;
- les zones de travaux de Caucanas, Mas Lacombe et ceux situés au Nord-Est de Font Bonne.

Nous avons cartographié l'ensemble des zones potentiellement émettrices auxquelles nous avons appliqué, comme pour les phénomènes « fontis » et « affaissement », un angle d'influence en surface de 30°. Pour ces zones, nous considérons que l'aléa « émission de gaz de mine en surface » ne peut être que négligeable. Ce niveau bas d'aléa se justifie par :

- l'existence d'un recouvrement marneux, de plusieurs dizaines de mètres au moins, dans deux nombreuses configurations d'exploitation (Montdardier et localement Vieille Mine). Ce type de recouvrement, peu perméable et suffisamment souple pour le rester en cas d'exploitation sous-jacente, est de nature à limiter la possibilité d'émission de gaz de mine en surface ;
- l'absence, dans de nombreux secteurs d'exploitation, d'une déstructuration des terrains de recouvrement, la stabilité des certains chantiers ouverts étant assurée à long terme ;

---

<sup>9</sup> POKRYSZKA, Z. – 1992 : Estimation of the extension of the zone of increased permeability in the goaf. Application to mine gas drainage techniques - Workshop on the recovery and end-use of coal-bed methane – Katowice (Poland)

- l'existence d'exutoires privilégiés pour le gaz, constitués par les orifices débouchant au jour. Il faut noter, en effet, pour ceux-ci, qu'ils n'ont été obturés que par des remblais, dont la perméabilité est certainement nettement plus importante que celle des terrains encaissants. Ces orifices ne constituent donc pas un « frein » majeur à la migration du gaz de mine vers l'extérieur. La probabilité de sortie du gaz de mine en surface est par contre beaucoup plus forte à ces endroits. Nous avons donc retenu un niveau d'aléa moyen dans un rayon de 20 m autour des orifices débouchant au jour. Ce rayon inclut une erreur de positionnement de l'orifice estimée à 10 m. Un niveau d'aléa intermédiaire n'a pas été retenu, quelles que soient les configurations, dans la mesure où l'écart de probabilité d'occurrence est très important si l'on considère la migration de gaz au travers du recouvrement et par les galeries.

La carte d'aléa relative à l'émission de gaz de mine en surface est présentée en annexe 3. Les zones d'aléa moyen sont figurées en marron foncé et celles correspondant à l'aléa négligeable en marron clair.

### **2.3 RISQUE « MOUVEMENTS DE TERRAIN » LIÉS AUX TRAVAUX DE SURFACE**

Les travaux de surface liés à l'exploitation de plomb-zinc du district des Malines sont les suivants :

- le dépôt de stériles ;
- les anciennes exploitations à ciel ouvert et les déblais associés.

Dans les deux cas, les phénomènes de mouvement de terrain éventuellement associés se classent principalement parmi les phénomènes de mouvements de talus ou, plus généralement, de versant, dont nous donnons ci-après quelques généralités. Seuls les phénomènes prévisibles dans le contexte de cette étude sont répertoriés.

#### **2.3.1 Généralités**

Les mouvements de versant sont à classer parmi les mouvements de terrain avec une composante horizontale du déplacement dominante à l'opposé de ceux liés aux exploitations souterraines dont la composante du déplacement dominante est verticale. On distingue :

- les déformations lentes associées aux phénomènes de fluage. Il peut s'agir de déformations superficielles ou profondes ;
- les glissements : Il s'agit de mouvements de translation ou de rotation dont la cinétique peut être rapide ou lente. Les glissements peuvent être superficiels (« phénomènes de peau ») et ne pas compromettre la stabilité d'ensemble d'un talus ou d'un versant ou, au contraire, plus profonds et affecter tout ou partie du talus. On parlera, dans ce dernier cas, de glissement en masse ;
- les écoulements : parmi les différents types d'écoulement, on retiendra les coulées boueuses. Elles proviennent généralement de l'évolution du front des glissements. Leur mode de propagation est intermédiaire entre le déplacement en masse et le transport fluide ou visqueux. Leur cinétique est rapide ;
- les chutes de blocs et écroulements rocheux.



### 2.3.2 Application au dépôt de stériles de la mine des Malines

Les différents phénomènes ou événements redoutés que nous retenons en matière de mouvements de terrains liés au dépôt de stériles de la mine des Malines sont :

- le glissement en masse. Il s'agit d'analyser la probabilité d'occurrence d'un tel phénomène dont la conséquence principale pourrait être la ruine totale du dépôt et induirait deux types d'effets :
  - un effet hydrodynamique par l'épanchement d'une coulée boueuse dans la vallée de la Crenze où est implanté le dépôt. On cherchera, dans ce cas, à évaluer jusqu'où ce phénomène peut être considéré ;
  - un impact environnemental occasionné par les boues du dépôt sur l'ensemble de la zone affectée par la coulée et, probablement au-delà, par la pollution des cours d'eau recevant les eaux de la Crenze. Cette conséquence sera analysée dans le paragraphe dédié aux impacts environnementaux ;
- les glissements superficiels. Ils peuvent affecter le parement aval de la digue du dépôt ;
- le tassement. Le dépôt, dans son ensemble, étant constitué de sables fins, déposés par cyclonage, donc dans un état de compacité probablement non optimal, il est possible que des tassements différés puissent survenir sous l'effet de sollicitations dynamiques (séisme) par exemple.

#### 2.3.2.1 Définition de l'aléa

##### Glissement en masse

Les principales conclusions de différentes études de stabilité du dépôt des stériles, réalisées par Y. Lebègue ([10], [11], [12], [13], [13bis]) et par M. Viard [13ter], sont données ci-après. Les facteurs de sécurité obtenus ont été calculés sur la base de caractéristiques de cisaillement des matériaux constitutifs du dépôt déterminées par des essais réalisés en laboratoire :

- le dépôt des stériles est implanté sur des formations dolomitiques très résistantes. La résistance à la compression simple d'échantillons prélevés dans les tunnels du Broun et de la Crenze varie de 15 à 70 MPa ;
- en 1982 [10], alors que le sommet du dépôt était à une cote voisine de 320 m NGF, soit 20 m au-dessous de l'état actuel, le coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture de la digue, calculé sur la base de caractéristiques de cisaillement obtenues en laboratoire, était de l'ordre de 2 ;
- les études complémentaires réalisées par la suite, notamment en 1990 [13bis], ont montré qu'une hauteur de digue de 93 m, soit globalement la hauteur actuelle, permettait d'assurer un même niveau de sécurité que les configurations précédentes ;
- des scénarios de rupture de l'ouvrage liés à une sollicitation sismique ont également été envisagés, bien que l'aléa sismique de la zone soit nul à négligeable. Avec une sollicitation correspondant à une accélération horizontale de 0,1 g, bien supérieure à l'aléa de référence de la zone, la stabilité de l'ouvrage est encore assurée avec un coefficient de sécurité de 1,5 ;

- le risque de liquéfaction des sables du dépôt consécutif à une sollicitation sismique a été considéré comme improbable lors de différentes études de stabilité dans la mesure où la compacité mesurée en place est loin d'être lâche (densité relative de 50 %) et que l'essentiel des sables du dépôt n'est pas saturé (bonne perméabilité naturelle et système de drainage efficace) ;
- enfin, dans l'éventualité d'une remontée de nappe dans le dépôt liée à un mauvais fonctionnement du système de drainage ou encore à des conditions pluviométriques exceptionnelles, la stabilité du dépôt est assurée avec un coefficient de sécurité de 1,5 si la nappe remonte jusqu'à 4 m de profondeur par rapport à la surface du dépôt. Dans le cas d'une submersion totale, le coefficient de stabilité est alors proche de 1. La probabilité d'une submersion totale demeure toutefois très faible dans la mesure où le canal évacuateur de crue réalisé dans la phase finale de réaménagement du dépôt permettra de palier ces conditions exceptionnelles. Ces travaux s'ajoutent au dispositif de drainage qui n'a, jusqu'alors, jamais fait défaut. Le seuil du déversoir de ce canal, situé 70 m en arrière et 7,5 m plus bas que la ligne de crête de la digue permettra de maintenir un niveau de nappe dans le corps de la digue à plus de 4 m de profondeur.

Toutes les études réalisées démontrent donc la stabilité de l'ouvrage. Toutefois, dans la mesure où on ne peut pas garantir totalement l'efficacité du système de drainage à long terme dont nous avons vu qu'il jouait un rôle primordial sur la stabilité, on ne peut pas totalement exclure un glissement en masse du dépôt. Dans ces conditions, la probabilité d'occurrence d'un glissement en masse du dépôt et d'une ruine totale de l'ouvrage est jugée faible à très faible.

L'intensité d'un tel phénomène et de ses conséquences (coulée boueuse) dépendra de la distance de la zone affectée par rapport à l'ouvrage. Elle sera, de toute façon, forte à très forte pour la zone du dépôt lui-même et son aval immédiat.

Bien que jugées peu probables, les conséquences d'une ruine totale du dépôt ont été évaluées pour le dépôt des Malines en 1987 (document non disponible) et analysés par Y. Lebègue [13]. L'évaluation a été réalisée par comparaison avec la destruction de la digue de retenue de boues de l'exploitation de Saint-Sébastien-d'Aigrefeuille qui présentait des caractéristiques analogues. Les hauteurs d'épandage de boue ont pu être évaluées en fonction de la distance par rapport au dépôt. Les hauteurs sont données par rapport au fond du lit du ruisseau de la Crenze :

- 20 m au confluent des ruisseaux de la Crenze et de Conduzorgues ;
- 10 m au lieu-dit l'Arboussine (à 0,4 km en aval) ;
- 5 m au pont de Conduzorgues ;
- 3 m à la jonction de la RD 110 (à 1,7 km) ;
- 2 m à l'entrée de Saint-Laurent-le-Minier.

Sur la base de cette évaluation et en considérant que la probabilité d'occurrence de ce phénomène est faible, nous pouvons estimer les niveaux d'aléa correspondant de la façon suivante :

- zone du dépôt : l'intensité d'un glissement en masse pour le dépôt est très forte. Nous retiendrons un niveau d'aléa moyen affecté à l'ensemble de la surface du dépôt, digue comprise ;

- zone d'épandage : nous considérons l'intensité du phénomène très forte dans la zone d'épandage jusqu'au pont de Conduzorgues, là où la hauteur de boue est encore de 5 m, puis, au-delà, de façon décroissante en fonction de la distance, de forte à moyenne. Cela conduit à retenir un niveau d'aléa moyen pour la zone comprise entre le dépôt et le pont de Conduzorgues, et faible au-delà et jusqu'au point de confluence de la Crenze avec la Vis.

#### Remarque sur la cartographie des zones d'épandage

La cartographie des zones affectées par la coulée boueuse a été réalisée à partir du fond topographique de l'IGN et sur la base d'observations sur le terrain de la morphologie du lit de la Crenze et de ses abords. Sans levé topographique plus précis de l'ensemble de la zone, nous ne pouvons pas garantir une grande précision sur ce zonage. A cet égard, au passage de Saint-Laurent-le-Minier et au-delà, nous avons calé la zone d'épandage sur le figuré de la Crenze de la carte IGN qui déborde sur de nombreuses habitations. Il faut noter qu'à Saint-Laurent-le-Minier, la Crenze se trouve encaissée par rapport aux habitations et ces dernières protégées par des murs de soutènement.

#### Glissements superficiels

Des glissements superficiels peuvent être envisagés sur le parement aval de la digue du dépôt. Leur probabilité d'occurrence est liée à la pente du parement, la nature des matériaux qui le constituent et peut-être être aggravée par des mises en charge hydrauliques locales et éventuellement des phénomènes d'érosion.

La pente intégratrice relativement faible du parement aval ( $18^\circ$ ) par rapport à l'angle de frottement des matériaux qui le constituent ( $33^\circ$ )<sup>10</sup>, la mise en place effective d'un système de drainage adapté des eaux de ruissellement (cunettes et enrochements) et une végétalisation de l'ensemble du parement sont autant d'éléments qui rendent peu probables des phénomènes de glissement superficiels. Aucun mouvement de ce type n'a d'ailleurs été constaté sur le site.

L'intensité de ce type de phénomène peut être considérée comme faible, ce qui conduit à retenir un niveau d'aléa faible pour l'ensemble de la digue.

#### Tassements

Les mesures effectuées in situ ont permis de montrer que les sables constitutifs du dépôt sont relativement compacts (densité relative de 50 %, poids spécifique sec apparent de 15 à 18 kN/m<sup>3</sup>). Le dépôt étant constamment drainé, les phénomènes de tassement différé sont peu probables. Ces derniers pourraient toutefois survenir sous l'effet de sollicitations dynamiques (de type séisme). La zone du dépôt étant classée à risque sismique nul à négligeable, la probabilité d'occurrence de phénomènes de tassement est donc faible. Leur intensité étant faible, nous avons retenu un niveau d'aléa faible pour le tassement, appliqué à l'ensemble du dépôt.

---

<sup>10</sup> Angle de frottement minimal admis dans les études de stabilité et déduit des caractéristiques de cisaillement du matériau obtenues en laboratoire. Le matériau étant constitué de sables fins uniquement, il n'a pas été mis en évidence de variations de cette valeur dans des conditions drainées ou non drainées.

### Cartographie des aléas mouvements de terrains liés au dépôt

L'annexe 2 présente la carte d'aléas « mouvements de terrains » liés aux travaux de surface dont le dépôt de stériles fait partie.

L'aléa glissement en masse a été cartographié en jaune : jaune citron pour le niveau d'aléa moyen et jaune pâle pour l'aléa faible.

L'aléa glissement superficiel (faible uniquement) a été cartographié en hachures rouges obliques.

L'aléa tassement (faible uniquement) est représenté par un semis de points noirs.

### **2.3.3 Application aux anciennes exploitations à ciel ouvert**

Les zones concernées par les exploitations à ciel ouvert sont les suivantes :

- les Avinières et Ferrières à l'Est de Saint-Laurent-le-Minier ;
- Mas Lacombes au Nord-Est de Saint-Laurent-le-Minier ;
- les Boissières au Sud de Sanguinède.

Pour ces trois zones, dont seules celles des Avinières et de Ferrières ont correspondu véritablement à des exploitations à ciel ouvert, nous avons constaté l'existence de verses constituées de stériles déposées à flanc de coteau. Il n'a pas été mis en évidence de zones d'excavation proprement dite, que soit directement sur site dans les zones visitées ou par visualisation de photos aériennes récentes.

Pour ces verses, nous considérons que seuls des glissements superficiels peuvent survenir. La probabilité d'occurrence de tels phénomènes est jugée faible à moyenne selon les zones, mais ne conduit à retenir qu'un niveau d'aléa faible quelle que soit la zone considérée, l'intensité du phénomène étant faible.

L'aléa glissement superficiel faible pour ces zones est cartographié en annexe 2.

## **2.4 RISQUES « IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX » LIES A L'ACTIVITE MINIERE**

Dans le contexte de l'exploitation des Malines, les impacts environnementaux peuvent être liés, d'une part, aux eaux de mine et à leurs conséquences sur l'environnement et, d'autre part, à l'existence du dépôt de stériles miniers qui contient une fraction de métaux lourds.

On distinguera, dans ce qui suit, le bilan de l'activité minière du point de vue des impacts environnementaux et qui a fait l'objet d'une synthèse à partir des nombreuses données analytiques par GEODERIS [16], de la probabilité d'occurrence de phénomènes redoutés susceptibles d'occasionner un impact environnemental.

Seul le second cas ci-dessus entre, de notre point de vue, dans le cadre de la réalisation d'un PPRM pour lequel un aléa « impact environnemental » doit être défini. Le bilan des impacts environnementaux entre quant à lui dans le domaine du porté à connaissance.



### Bilan de l'activité minière du point de vue des impacts environnementaux

Ce bilan a été réalisé une première fois en 1994 par l'Ecole des Mines de Paris [5] et actualisé par GEODERIS [16] en intégrant les résultats d'analyses recueillis sur 5 ans (prescriptions des AP). Les conclusions de ces analyses sont données dans le rapport de synthèse de la phase informative [18]. Les informations principales en terme de qualité des eaux d'exhaure et du réseau hydrologique qui les drainent sont indiquées sur la carte informative jointe à ce rapport.

**En terme d'impacts environnementaux** sur les différents milieux, il faut distinguer les eaux, les sédiments et la faune et la flore aquatique :

1. les eaux d'exhaure sont traitées à la galerie Espérance avant d'être rejetées au milieu naturel. Elles continueront à être traitées jusqu'à ce que leur qualité soit conforme aux normes définies par AP <sup>11</sup>; la qualité des eaux d'exhaure des autres galeries ainsi que celles du drain du dépôt de stériles est déjà stabilisée au-dessous de ces normes ;
2. les sédiments, qui renferment 0,1 % de plomb et 0,5 % de zinc, ne contribuent pas de façon significative à la détérioration de la qualité des eaux tant qu'ils restent immergés (milieu réducteur) ;
3. les analyses réalisées sur la flore et la faune aquatique montrent un très net impact sur les poissons, dépassant les normes de consommation appliquées par les services vétérinaires en ce qui concerne le plomb et le cadmium (pas de norme pour le zinc).

**En terme de risques**, les impacts environnementaux décrits ci-dessus correspondent à des **risques chroniques** d'exposition parmi lesquels il faut distinguer les risques sanitaires, d'une part, et les risques pour les écosystèmes, d'autre part. Il faut souligner que les prescriptions de l'arrêté préfectoral, en termes de rejet et d'objectifs de qualité, prennent bien en compte les risques sanitaires (normes eaux potables) mais non la protection du milieu aquatique :

#### 1. Risques sanitaires

Les éléments toxiques pour l'homme sont essentiellement, pour le site des Malines, le plomb et le cadmium. Le cadmium et le plomb sont des éléments bioaccumulables dans la flore aquatique et les poissons. Le zinc n'est pas toxique pour l'homme, ce qui explique la valeur élevée des seuils admissibles pour les eaux potables.

#### 2. Risques écotoxicologiques

Le critère essentiel est ici le zinc pour lequel les normes de rejet sont incompatibles avec les objectifs de qualité d'un cours d'eau de catégorie salmonicole (classe IA – IB).

### Probabilité d'occurrence de phénomènes susceptibles d'occasionner un impact sur l'environnement

Nous analysons, dans ce qui suit, deux phénomènes susceptibles d'occasionner un impact sur l'environnement. Il s'agit, de notre point de vue, des deux seuls cas réellement envisageables, à savoir, la possibilité d'une modification de points de rejet d'eaux d'exhaure minière et les conséquences d'un glissement en masse du dépôt de stériles.

<sup>11</sup> AP du 20 janvier 1992, modifié le 26/12/1995 et le 12/04/2000.

<sup>12</sup> AP du 20 janvier 1992, modifié le 26/12/1995 et le 12/04/2000.

### *Modification de points de rejet d'eaux d'exhaure minière*

Nous avons dit que la situation hydrogéologique est maintenant stabilisée. Tous les vides miniers qui devaient être ennoyées le sont maintenant. Les eaux de mine trouvent leur exutoire en dix points bien identifiés correspondant à autant de galeries d'accès aux travaux miniers. Ces galeries ont été toutes mises en sécurité de telle sorte qu'elles constituent des exutoires permanents des eaux de mine. L'existence d'autres points de rejet susceptibles à l'avenir d'occasionner un impact sur le milieu environnant n'est donc pas retenue.

Il demeure que des mises en charges temporaires, en arrière des exutoires, ne peuvent pas totalement être écartées. Elles pourraient être liées à un éboulement en arrière de la galerie ou encore à un colmatage partiel ou total des conduites mises en place pour assurer l'écoulement. Compte tenu du mode de traitement des orifices (remblayage et/ou foudroyage sur 10 m de longueur), l'écoulement devrait pouvoir se rétablir au travers des remblais ou des matériaux éboulés. Toutefois, un effet de chasse lié à une mise en charge plus importante pourrait éventuellement survenir au débouché des galeries. La probabilité d'un tel événement est jugée néanmoins faible, la plupart des quartiers exploités possédant au moins deux exutoires identifiés assurant ainsi une sécurité vis-à-vis du colmatage de l'un d'entre eux. Cet effet pourrait être sensible, dans les vallons dans lesquels les exutoires se jettent, sur une distance minimale de 300 m par rapport à l'orifice des galeries concernées (valeur suffisante à notre sens pour la sécurité). L'intensité d'un tel phénomène pouvant être forte sur cette distance, l'aléa y est considéré comme moyen.

### *Glissement en masse du dépôt de stériles*

Pour le dépôt de stériles, il est possible d'envisager un impact environnemental lié à un glissement en masse de l'ouvrage dont la conséquence serait l'épandage en aval des matériaux constitutifs du dépôt. La probabilité d'occurrence de cet impact est égale à celle du glissement en masse du dépôt. Cette dernière a été évaluée comme n'étant que faible à très faible compte tenu des garanties importantes apportées par les études de stabilité.

Les analyses réalisées sur le dépôt indiquent des teneurs en plomb et en zinc respectivement de 0,2 à 0,4 %. Si l'on compare ces valeurs à celles mesurées actuellement sur les sédiments en aval du dépôt (respectivement de 0,1 et 0,5 % pour le plomb et le zinc), l'épandage des matériaux du dépôt occasionnera un impact supplémentaire pour le plomb par rapport à celui déjà existant.

L'aléa correspondant à un impact environnemental lié au glissement en masse du dépôt de stérile doit donc être considéré comme faible. Pour les sédiments, il est limité à la zone d'épandage définie en annexe 2 pour l'aléa glissement en masse du dépôt. L'impact occasionné sur les eaux s'étendra, quant à lui bien en aval de la zone d'épandage des matériaux. La survenance d'un tel événement devra faire l'objet d'une Evaluation Détaillée des Risques (EDR) et d'un suivi de la qualité des eaux du milieu de façon à définir les zones sur lesquelles devront porter éventuellement des restrictions d'usage de l'eau.

### 3. CONCLUSIONS

---

La présente analyse a conduit à la définition de l'aléa pour les risques « mouvements de terrains » liés aux exploitations souterraines et aux travaux de surface, « émission de gaz de mine en surface » liée aux exploitations souterraines et « impacts environnementaux » liés à l'activité minière.

#### 1) « Mouvements de terrains » liés aux exploitations souterraines

Deux types d'événements ont été retenus : il s'agit des « fontis » et des « affaissements ». L'analyse des différentes configurations d'exploitation a permis d'exclure l'occurrence d'effondrements généralisés sur tout le domaine exploité en souterrain.

Pour le fontis, deux niveaux d'aléa ont été retenus, faible à moyen selon les configurations, pour les zones de travaux et les galeries situées à moins de 50 m de profondeur et faible pour les zones de travaux uniquement situés entre 50 et 70 m de profondeur.

Pour l'affaissement, nous avons retenu un aléa faible pour l'ensemble des zones de travaux, quelle que soit la profondeur, à l'exception de la zone de travaux remblayés et clavés à proximité et sous le village de Montdardier pour laquelle l'aléa a été jugé négligeable.

#### 2) « Mouvements de terrains » liés aux travaux de surface

Ils concernent le dépôt de stériles de la mine des Malines et les verses à stériles grossiers localisées dans certains secteurs d'exploitation très ancienne.

Pour le dépôt de stériles, trois types de phénomènes ont été retenus : le tassement, le glissement superficiel et le glissement en masse. Pour les deux premiers, seul un aléa faible a été retenu. Pour le cas du glissement en masse, nous avons considéré que la probabilité d'occurrence était faible à très faible. Toutefois, compte tenu de l'intensité très forte d'un tel phénomène, un aléa moyen a été retenu pour la zone du dépôt. Pour évaluer l'aléa correspondant au glissement en masse du dépôt à son aval, nous nous sommes basés sur l'estimation des zones d'épandage des boues réalisées par l'exploitation durant l'activité minière. Une zone proximale par rapport au dépôt, pour laquelle une hauteur de boue déposée a été estimée à au moins 5 m, a été classée en aléa moyen. Au-delà, et jusqu'à la confluence avec la Vis, l'aléa a été jugé faible.

Pour les zones de verses à stériles grossier, nous avons retenu uniquement le phénomène « glissement superficiel » avec un aléa faible.

#### 3) « Emission de gaz de mine en surface » liée aux exploitations souterraines

Pour ce type de risque, nous avons dissocié les zones de travaux situées à moins de 200 m de profondeur pour lesquelles nous avons retenu un aléa « émission de gaz de mine en surface » négligeable et les zones des orifices miniers débouchant au jour (galeries et cheminées) auxquelles un aléa moyen a été affecté.

Les aléas correspondant aux trois points ci avant, ont fait l'objet chacun d'une cartographie spécifique à l'échelle de 1/5000<sup>ème</sup>.

#### 4) « Impact environnemental »

Celui a été analysé mais n'a pas fait l'objet d'une cartographie spécifique, l'essentiel de l'analyse entrant plutôt dans le domaine du « porté à connaissance » d'un bilan des activités minières du point de vue environnemental dont les informations principales sont indiquées sur la carte informative. On notera, à cet égard, que, si la qualité des eaux des ruisseaux qui drainent les rejets d'exhaure est acceptable pour la protection des captages d'eau potable, elle ne permet ni la consommation des produits de la pêche ou l'activité piscicole, ni le respect des objectifs de qualité des ruisseaux.

Un « impact environnemental » d'aléa faible a cependant été défini comme la conséquence d'une probabilité d'occurrence faible à très faible de glissement en masse du dépôt de stériles des Malines.

Enfin, nous avons retenu un aléa moyen pour des phénomènes de coup de chasse dans les vallons dans lesquels les exutoires se jettent, sur une distance minimum de 300 m par rapport à l'orifice des galeries concernées. Cette mesure est justifiée par la probabilité, jugée faible, d'effets de chasse liés à la mise en charge temporaire en arrière des exutoires identifiés mais dont l'intensité pourrait être forte.

Il restera, ultérieurement et dans un autre cadre, en vue de la finalisation de ce PPRM, à réaliser la carte réglementaire et à établir le règlement associé.



#### 4. REFERENCES

---

- [1] Mine des Malines. Arrêt définitif des travaux d'exploitation. Dossier d'abandon. METALEUROP. Rapport simplifié.
- [2] Mine des Malines. Arrêt définitif des travaux d'exploitation. Dossier d'abandon. METALEUROP. Annexes (première partie), volume 2/3.
  - [2a] Rapport sur la stabilité à long terme de l'édifice minier des Malines dans le cadre de la procédure d'abandon. Rapport de l'Ecole des Mines de Paris – Centre de Géotechnique et d'Exploitation du Sous-sol de M. Duchène du 4 juillet 1994.
  - [2b] Mine des Malines, quartier de Montdardier. Rapport sur l'état du toit et des piliers. Rapport de M. Duffaut daté du 21 janvier 1991.
- [3] Mine des Malines. Arrêt définitif des travaux d'exploitation. Dossier d'abandon. METALEUROP. Annexes (deuxième partie), volume 3/3.
- [4] Etude de la qualité des eaux. Région de Saint-Laurent-le-Minier (Gard). Rapport de l'Ecole des Mines de Paris – Armines de MM. Combes, Schmitt et Ledoux, octobre 1994, pour le compte de METALEUROP. Document de texte.
- [5] Etude de la qualité des eaux. Région de Saint-Laurent-le-Minier (Gard). Rapport de l'Ecole des Mines de Paris – Armines de MM Combes, Schmitt et Ledoux, octobre 1994, pour le compte de METALEUROP. Document de figures.
- [6] Le dépôt des stériles de la mine des Malines. Dossier METALEUROP.
- [7] Note sur le taux de défruitement de Sanguinède amas. Document Penarroya transmis à la DRIRE, le 29 mars 1985.
- [8] Etude la stabilité de l'exploitation de l'amas de Sanguinède. Rapport ENSTIMA de M. P. Weber, non daté.
- [9] Caractéristiques mécaniques des roches du quartier de Montdardier. Note de synthèse de ENSTIMA, non datée.
- [10] Les Malines, digue principale. Rapport spécial Stabilité de la digue principale à son état final. 2<sup>ème</sup> projet cote maximale +320. Rapport CEBTP de M. Y. Lebègue du 8 novembre 1982.
- [11] Rapport spécial sur la digue côté carreau. Plus particulièrement à son état final. Rapport CEBTP de M. Y. Lebègue du 22 novembre 1982.
- [12] Stabilité de la digue principale à son état final. 2<sup>ème</sup> projet cote maximale +320. Etude complémentaire (suite). Rapport CEBTP de M. Y. Lebègue du 10 juillet 1985.
- [13] Examen de la note du 18/02/1987 « Eventualité et conséquences d'une ruine totale du dépôt de rejets de la laverie des Malines ». Rapport de M. Y. Lebègue. Document Penarroya, non daté.

- [13bis] Stockage des rejets. Digue principale et digue côté carreau. Rapport de Y. Lebègue n° 14 du 8 février 1990.
- [13ter] Rapport annuel de surveillance du dépôt des stériles – Année 1998. Mica Environnement / M. Viard n° 99-028.
- [14] Chambres et piliers abandonnés et chambres montantes remblayées juxtaposées dans la mine de zinc des Malines. Article de M. H. Carle, Industrie minière – Les Techniques, Fév. 1983.
- [15] Le gisement des Malines (Gard) Zn, Pb. Article de Foglierini F., Bernard A. et Verraes G. Publications au 26<sup>e</sup> Congrès Géologique International. Paris 7-17 juillet 1980.
- [16] DRIRE Languedoc-Roussillon - Valorisation des données environnementales. Chapitre 3, exemple des Malines. Rapport GEODERIS, Fév. 2002, réf. 02-LRO-1.3-R05/BC.
- [17] Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault). Bilan des données disponibles en vue de la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers. Rapport INERIS-DRS-01-37673/R01 du 20 décembre 2001 pour le compte de GEODERIS.
- [18] Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault). Synthèse de la phase informative en vue de la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers. Rapport INERIS-DRS-02-37673/R02 du 25 juillet 2002 pour le compte de GEODERIS.

**5. LISTE DES ANNEXES**

<b>Repère</b>	<b>Désignation</b>	<b>Nature</b>
Annexe 1	Carte d'aléas « Mouvements de terrains » liés aux exploitations souterraines (plan à l'échelle de 1/5000 <sup>ème</sup> )	Plan hors texte
Annexe 2	Carte d'aléas « Mouvements de terrains » liés aux travaux de surface (plan à l'échelle de 1/5000 <sup>ème</sup> )	Plan hors texte
Annexe 3	Carte d'aléa « Emission de gaz de mine en surface » lié aux exploitations souterraines (plan à l'échelle de 1/5000 <sup>ème</sup> )	Plan hors texte

***INERIS***

*INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES*

Parc Technologique ALATA - B.P. N° 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte  
Tél. : 03 44 55 66 77 - Fax : 03 44 55 66 99 - e-mail : [ineris@ineris.fr](mailto:ineris@ineris.fr)



# INERIS

## **Complément aux études préliminaires à la réalisation du PPRM de l'ancienne exploitation des Malines**

**Travaux de la concession de Saint-Julien-de-la-Nef**

GEODERIS

*X. DAUPLEY*

*Direction des Risques du Sol et du Sous-sol*



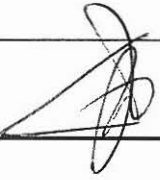
**14 octobre 2004**

# Complément aux études préliminaires à la réalisation du PPRM de l'ancienne exploitation des Malines

Travaux de la concession de Saint-Julien-de-la-Nef

14 OCTOBRE 2004

Ce document comporte 10 pages (hors couverture, figures et annexes).

	Rédaction	Vérification	Approbation
<b>NOM</b>	Xavier DAUPLEY	Christophe DIDIER	Christian TAUZIEDE
<b>Qualité</b>	Ingénieur à l'Unité Modélisation et Evaluation des Risques Géotechniques de la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol	Responsable de l'Unité Modélisation et Evaluation des Risques Géotechniques de la Direction des Risques du Sol et du Sous-sol	Directeur des Risques du Sol et du Sous-sol
<b>Visa</b>			

## TABLE DES MATIERES

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>2. TRAVAUX REALISES.....</b>	<b>3</b>
<b>3. LES TRAVAUX MINERS SOUTERRAINS.....</b>	<b>4</b>
3.1 LOCALISATION - CONTEXTE .....	4
3.2 HISTORIQUE DES TRAVAUX MINERS .....	4
3.3 DESCRIPTIF DES TRAVAUX MINERS .....	4
<b>4. EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES ALÉAS .....</b>	<b>7</b>
4.1 CAS DES TRAVAUX SOUTERRAINS.....	7
4.2 VERSE DE MAUDESSE.....	8
<b>5. RÉFÉRENCES .....</b>	<b>9</b>
<b>6. LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>10</b>

## 1. INTRODUCTION

---

L'INERIS a réalisé, en 2001 et 2002, pour le compte de GEODERIS, les études préliminaires à la réalisation d'un PPRM de l'ancienne exploitation des Malines (Gard et Hérault). Ceci a fait l'objet de deux rapports :

- Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault). Synthèse de la phase informative en vue de la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers. INERIS-DRS-02-37673/R02 du 22 novembre 2002 ;
- Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault). Contribution à la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers. Définition et cartographie de l'aléa. INERIS-DRS-02-37673/R03 du 5 décembre 2002 [5].

GEODERIS a sollicité l'INERIS pour définir et cartographier les aléas liés aux vieux travaux miniers de la concession de Saint-Julien-de-la-Nef, non pris en compte dans le cadre des études préliminaires précitées.

Pour la définition et l'évaluation des aléas, nous avons repris, sans les détailler, les conclusions des études réalisées sur le site de Malines (concessions voisines) [5], le contexte étant quasiment identique, et suivi les recommandations du guide PPRM en voie de finalisation [6].

## 2. TRAVAUX REALISES

---

Une visite conjointe de GEODERIS et de l'INERIS des zones de travaux concernées a été réalisée le 15 juillet 2004.

A l'issue de cette intervention, le travail de restitution cartographique (positionnement des ouvrages et zones de travaux) a été effectué en commun avec GEODERIS. L'analyse des archives relatives aux travaux de la concession a été menée sur la base des documents rassemblés par GEODERIS auprès de la DRIRE Languedoc-Roussillon.

Un document descriptif complet et récent sur les anciens travaux miniers de la concession a été établi en 2003 par Mica Environnement (Viard, 2003 [1]). Il décrit les travaux souterrains visitables à cette époque. Depuis, une partie de ceux-ci ne sont plus accessibles car des travaux de mise en sécurité des orifices débouchant au jour ont été réalisés.



### 3. LES TRAVAUX MINIERS SOUTERRAINS

---

#### 3.1 LOCALISATION - CONTEXTE

Les travaux concernés se situent à l'intérieur du périmètre de la concession de Saint-Julien-de-la-Nef. Cette dernière se localise au Nord-Est de la concession des Malines et est limitée, au Nord-Est, par le village de Saint-Julien-de-la-Nef, à l'Ouest, par le village de Bresson, à l'Est, par de la rivière Hérault et, au Sud, par la vallée de la Vis, en aval de Saint-Laurent-le-Minier (figure 1). Elle concerne les territoires des communes de Saint-Julien-de-la-Nef, Roquedur, Saint-Bresson et Saint-Laurent-le-Minier.

Les travaux miniers souterrains réalisés dans cette concession se répartissent en 3 sites principaux [1] (figure 2) :

- le site de Maudesse au Sud-Ouest de la concession, en limite de la concession des Malines. Ces travaux se situent sur la commune de Saint-Laurent-le-Minier ;
- celui de Mas des Prés (ou du Prat ou Laurent) sur la commune de Saint-Julien-de-la-Nef ;
- celui de Ribaude, en redescendant de Trescol vers la plaine de Saint-Julien-de-la-Nef.

Ils s'alignent selon un axe orienté SW-NE correspondant au contact géologique tectonique entre, au SE, des formations dolomitiques et marneuses du Trias, et, au NW, des schistes paléozoïques cévenols. Le gisement est constitué ici par des amas stratiformes ou gîtes disséminés dans les dolomies du Trias moyen ou dans les grès du Trias inférieur ou encore dans les dolomies du Lias, à proximité du contact avec les schistes paléozoïques [2].

#### 3.2 HISTORIQUE DES TRAVAUX MINIERS

La concession a été instituée par décret le 3 août 1880 pour l'exploitation du zinc, du plomb, de l'argent et autres métaux connexes. En 1949, la mutation de propriété est autorisée en faveur de la Société des Mines des Malines puis, en 1961, en faveur de la Société Minière Métallurgique de Pénarroya, devenue Métaleurop S.A. depuis le 7 novembre 1988.

D'après les informations disponibles [1], quelques travaux auraient été réalisés avant l'instauration de la concession mais, pour l'essentiel, ceux-ci ont été effectués entre 1880 et 1901 [2]. Par la suite, seuls des travaux de reconnaissance semblent avoir été entrepris, de 1912 à 1917, puis de 1924 à 1927, date à laquelle les travaux miniers auraient été définitivement arrêtés [3].

#### 3.3 DESCRIPTIF DES TRAVAUX MINIERS

La connaissance de l'organisation et de l'état actuel des travaux miniers résulte :

- des observations de terrain réalisées par Mica Environnement en 2002 consignées dans un rapport de 2003 [1]. Il s'agit du document le plus complet sur la description des travaux souterrains de ce secteur, ceci d'autant plus que, depuis sa rédaction, des travaux de mise en sécurité de certains orifices miniers ont été réalisés, n'autorisant plus l'accès aux travaux souterrains, ce qui était encore le cas en 2002 et 2003. Les travaux encore visitables du secteur de Maudesse sont décrits précisément dans ce document ;

- de l'analyse des plans des travaux miniers disponibles. Nous avons retenu comme document cartographique de référence, un plan au 1/2500<sup>ème</sup> provenant des archives de la DRIRE Languedoc-Roussillon, établi par la Société des Mines des Malines. Ce document est non daté mais doit être à jour au moins pour l'année 1949, date de mutation de la concession en faveur de la société susnommée, donc à jour de l'ensemble des travaux miniers, ceux-ci n'ayant pas été poursuivis après 1927. Ce plan apparaît globalement cohérent avec les observations de terrain. Il est, par contre, localement contradictoire avec d'autres plans plus anciens pour le tracé ou encore le débouché au jour de certaines galeries ;
- des observations réalisées par GEODERIS et l'INERIS en 2004.

### 3.3.1 Les travaux de Maudesse

Le plan présenté en figure 3 permet une visualisation des travaux réalisés dans ce secteur. Il s'agit de deux petits panneaux (30 m × 40 m et 20 m × 30 m) reliés à la surface par deux galeries principales, G1 et G2 (également appelée Sainte-Barbe). A partir des observations faites, on retiendra les caractéristiques principales suivantes :

- la galerie G1 est maçonnée sur les 5 premiers mètres et donne accès, après un cheminement d'une vingtaine de mètres à un éboulement dans lequel il est possible de monter pour atteindre une chambre dépilée et encombrées de blocs rocheux de taille métrique. Le cheminement est ensuite possible le long de la zone d'éboulement pour rejoindre ce qui doit constituer la galerie de liaison entre les deux panneaux. Après un cheminement d'une centaine de mètres au total, la galerie est noyée ;
- depuis l'entrée de la galerie G1 et en remontant le versant, on peut observer 3 ouvertures, de taille métrique dont l'une donne permet de visualiser une chambre à caractère fortement ébouleux (non visitée pour cette raison). Ces autres entrées devaient correspondre à des extensions du panneau exploité à proximité de la surface et débouchant en surface, à la faveur d'un effondrement où à la suite d'un percement volontaire ;
- si une partie des zones de travaux semble aujourd'hui éboulée, les observations réalisées permettent d'estimer des vides francs résiduels de quelques mètres à une vingtaine de mètres de longueur pour quelques mètres de largeur et une ouverture de 2 à 3 m ;
- la galerie G2 ou Sainte-Barbe qui débouche en contrebas des deux panneaux, légèrement au-dessus du ruisseau de Maudesse. Elle est éboulée 2 mètres après son entrée. De l'eau s'écoule à faible débit de cette galerie ;
- entre les galeries G1 et G2, on peut estimer le dénivelé à 20 à 25 m. Compte tenu de la topographie locale, ces travaux se situent de façon certaine à moins de 50 m de profondeur et probablement tous à moins de 30 m de profondeur ;
- au débouché de la galerie G1 et des 3 percements associés à cette zone, s'étend une verse à stérile sur 15 à 20 m de dénivelé.

#### Instabilités de surface

Deux types d'instabilités ont été observés :

- un fontis récent de 1,5 m de diamètre qui ne correspond a priori à aucune galerie identifiée [1] (à la connaissance des travaux et calages de plans près) ;

- une dépression d'apparence stabilisée, en forme de cône, et qui pourrait être attribuée à un ancien puits.

### Positionnement des travaux

Les décalages en termes de représentation et de dimension entre les observations récentes et les vieux plans de mine laissent penser que les travaux souterrains n'ont jamais fait l'objet d'un relevé précis et exhaustif. Il est donc possible que des travaux souterrains de cette zone ou que l'extension réelle des travaux identifiés sur plan ne soient pas cartographiés. La zone supposée de vieux travaux miniers cartographiées en annexe 1 tient compte de ces incertitudes de positionnement et d'exhaustivité de l'information disponible. Ainsi, la zone cartographiée englobe largement les travaux identifiés en passant par tous les ouvrages au jour observables sur le terrain.

Pour les ouvrages débouchant au jour, nous avons distingué les ouvrages retrouvés ou non retrouvés sur le terrain en distinguant ceux qui ont été traités et s'il s'agit de galeries ou de puits. Un symbole est également figuré pour les galeries présentant un écoulement.

Pour le secteur de Maudesse, aucun ouvrage retrouvé sur le terrain n'a fait l'objet de travaux de mise en sécurité. Ils sont soit ouverts et donnent accès à une partie des travaux souterrains, soit éboulés (cas de la galerie Sainte-Barbe).

### **3.3.2 Les travaux de Mas des Prés**

Les travaux de ce secteur sont constitués de plusieurs galeries qui s'entrecroisent et relient la plate-forme de Mas des Prés (ou du Prat) et le ravin du ruisseau de Maudesse (voir figure 3 et annexe 1). Comme pour les travaux de Maudesse, les informations fournies par les plans sont imprécises et localement contradictoires.

Nous avons repositionné sur l'annexe 1 tous les orifices débouchant au jour, identifiés à partir de plusieurs sources cartographiques et, pour deux d'entre eux, à partir des observations directes de terrain :

- la galerie G4 s'ouvre au niveau du portail de Mas des Prés. Elle est maintenant obturée par un mur en pierre jointoyé, deux mètres après son débouché au jour. Elle est haute de 1,6 m. Une branche de la galerie plongeait probablement sous le chemin donnant accès au Mas en direction du ravin, puis le tangentant vers l'aval. Il a été observé plusieurs fontis le long de ce cheminement dont aucun ne permettait de pénétrer dans la galerie [1] ;
- la galerie G3. Elle se situe dans le ravin de Maudesse, en rive gauche, un peu au-dessus du chemin reliant le mas de Maudesse au pont de Mange Châtaigne. Cette galerie est haute de 1,8 m pour 1,5 m de large et est effondrée à 15 m de l'entrée. Elle est maintenant obturée par un bouchon de béton percé à sa base de 3 conduites pour permettre l'évacuation des eaux, dont le débit peut être temporairement important d'après les traces de ruissellement observées avant les travaux de mise en sécurité [1]. Cette galerie devait être reliée initialement à la galerie G4.

Pour tenir compte des incertitudes importantes qui apparaissent à la lecture des plans, tant sur le plan de positionnement que de l'importance des travaux souterrains réalisés, nous avons cartographié, comme pour les travaux de Maudesse, une zone supposée de travaux en reliant tous les ouvrages débouchant en surface, ceux retrouvés et ceux connus uniquement sur plan. Ces travaux se situent tous à moins de 50 m de profondeur.

### 3.3.3 Les travaux de la Ribaude

Le versant de la montagne descendant du col de Trescol dans la plaine de Saint-Julien est marqué par les vestiges de nombreux grattages, tranchées voire fontis évasés [1]. Deux galeries, dont une était pénétrable avant que son orifice soit mis en sécurité (mise en place d'un mur en béton avec ouverture pour les chiroptères), ont été retrouvées. Cette dernière était en bon état.

Comme à Mas des Prés et Maudesse, nous avons repositionné, sur le plan de l'annexe 1, les galeries débouchant au jour en distinguant si elles ont été retrouvées et traitées ainsi qu'une enveloppe de travaux englobant la trace des galeries visibles sur les plans.

### 3.3.4 Autres travaux

En plus des trois principaux secteurs de travaux, relativement bien identifiés et décrits ci-avant, nous avons positionné, sur le plan de l'annexe 1, tous les ouvrages identifiés sur les divers plans consultés. Il s'agit tous d'ouvrages non retrouvés sur le terrain et qui correspondent, d'après les indications sur plan à des attaques ponctuelles et travaux de reconnaissance. Aucun écrit ne mentionne l'existence d'une extension des travaux souterrains à partir de ces ouvrages.

## 4. EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS

---

### 4.1 CAS DES TRAVAUX SOUTERRAINS

Compte tenu de la nature des travaux souterrains de la concession (travaux d'extension très limitée, à faible profondeur) et des observations de terrains, seul le phénomène d'effondrement localisé de type fontis est retenu.

#### Travaux de Maudesse

Les travaux de ce secteur sont peu profonds (probablement tous situés à moins de 30 m de profondeur). Ils présentent des vides résiduels significatifs (galeries et chambres encore visitables) et montrent, au moins localement, de mauvaises tenues du toit. Ces constats, conjugués à la prise en compte de l'apparition récente d'un fontis dans ce secteur, nous conduisent à retenir une prédisposition sensible du site pour le développement et l'apparition au jour d'effondrements localisés de type fontis.

L'intensité de ce type de phénomène redouté est jugée modérée. On peut s'attendre à des fontis de 1 à 2 ou 3 m de diamètre compte tenu des dimensions de vides disponibles.

En conséquence, nous retiendrons un aléa fontis fort<sup>1</sup> que nous appliquons à l'ensemble de la zone supposée de vieux travaux de ce secteur. L'aléa est cartographié en rouge sur le plan de l'annexe 2.

---

<sup>1</sup> Les études préliminaires à la réalisation d'un PPRM sur l'ancienne exploitation des Malines (concessions voisines) [5] ont conclu à un aléa fontis moyen pour tous les travaux souterrains (zones de travaux et galeries) situés à moins de 50 m de profondeur, en considérant une prédisposition du site a priori plus faible compte tenu de l'absence de mouvements de terrains connus au jour.



### Travaux de Mas des Prés

Dans ce secteur, les travaux souterrains correspondent uniquement à des galeries. Elles se situent toutes à faible profondeur et possèdent des ouvertures assez limitées (moins de 2 m pour celles qui ont pu être observées). La présence d'anciens fontis à l'aplomb du tracé d'une galerie conduit à considérer une prédisposition peu sensible à sensible du site pour l'apparition de fontis en surface<sup>2</sup>. Considérant qu'il ne subsiste que des vides résiduels très réduits dans ce secteur, l'intensité du phénomène redouté ne pourra être que limitée. En conséquence, nous retenons un aléa fontis moyen appliqué à l'ensemble de la zone de travaux de ce secteur (annexe 2).

### Autres travaux

Pour tous les autres travaux souterrains de cette concession, à savoir les galeries de la Ribaude dont deux d'entre elles ont été mises en sécurité ainsi que les attaques ponctuelles connues à partir des plans, nous avons retenu un aléa fontis moyen. Ce niveau d'aléa tient compte de l'absence d'informations sur la plupart des ouvrages.

Pour ces derniers travaux, à l'exception des deux galeries retrouvées, l'aléa a été appliqué dans un rayon de 25 m par rapport à la position supposée de l'ouvrage, valeur estimée de l'incertitude de positionnement de l'ouvrage sur le fond topographique de l'IGN (Scan 25) à partir des vieux plans de mine. Pour les deux galeries sus-nommées, un rayon de 10 m seulement a été appliqué, correspondant à l'incertitude du support cartographique utilisé.

## **4.2 VERSE DE MAUDESSE**

Pour ce dépôt, constitué de pierres et petits blocs, qui s'étend sur 15 à 20 m de dénivelé et sur une cinquantaine de mètres de large, nous avons retenu la possibilité de glissements superficiels d'intensité très limitée. L'aléa correspondant est jugé faible et cartographié en vert en annexe 2.

---

<sup>2</sup> Nous n'avons pas tenu compte de la mise en sécurité de certains orifices miniers, celle-ci ne concernant que les premiers mètres de l'ouvrage, ce qui n'est pas possible à prendre en compte cartographiquement à l'échelle de restitution considérée.

## 5. REFERENCES

---

- [1] VIARD (2003). Concession de Saint-Julien-de-la-Nef (Gard). Projet de travaux de mise en sécurité des travaux miniers de Maudesse, Mas des Près et la Ribaude. Commune de Saint-Laurent-le-Minier et Saint-Julien-de-la-Nef (30). Rapport de Mica Environnement / N°03-124 de mars 2003 pour le compte de Métaleurop.
- [2] Fiche BRGM. Planche 80. Concession de Saint-Julien-de-la-Nef. Décembre 1994.
- [3] Rapport de l'Ingénieur des Mines du 7 décembre 1948 concernant la demande de mutation présentée 000par la Sté des Mines des Malines.
- [4] Société des Mines des Malines. Plan géologique des travaux de Maudesse – Saint-Julien. Echelle 1/2500<sup>ème</sup>.
- [5] Exploitation de plomb-zinc de la mine des Malines (Gard et Hérault). Contribution à la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers. Définition et cartographie de l'aléa. Rapport INERIS-DRS-02-37673/R03 du 2 août 2002.
- [6] L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers. Guide méthodologique. Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa. Ouvrage collectif INERIS, BRGM, GEODERIS, ENSMP, IRSN, CSTB référencé INERIS DRS-04-51198/R01 projet n°2 du 30 juin 2004.

## 6. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Figure 1	Localisation de la concession de Saint-Julien-de-la-Nef	1 A4
Figure 2	Localisation des travaux miniers. Plan établi par Mica-Environnement (Document n° 03.124/2 [1])	1 A3
Figure 3	Détail des travaux de Maudesse et de Mas des Prés (plan au 1/2500 <sup>ème</sup> [4])	1 A4
Annexe 1	Concession de Saint-Julien-de-la-Nef. Etude préliminaire au plan de prévention des risques miniers. Carte informative liée aux anciens travaux souterrains	1 A3
Annexe 2	Concession de Saint-Julien-de-la-Nef. Etude préliminaire au plan de prévention des risques miniers. Cartographie des aléas liés aux anciens travaux souterrains et aux ouvrages débouchant au jour	1 A3



- ① Concession des Malines
- ② Concession d'Anjeau
- ③ Concession de St-Julien-de-la-Nef

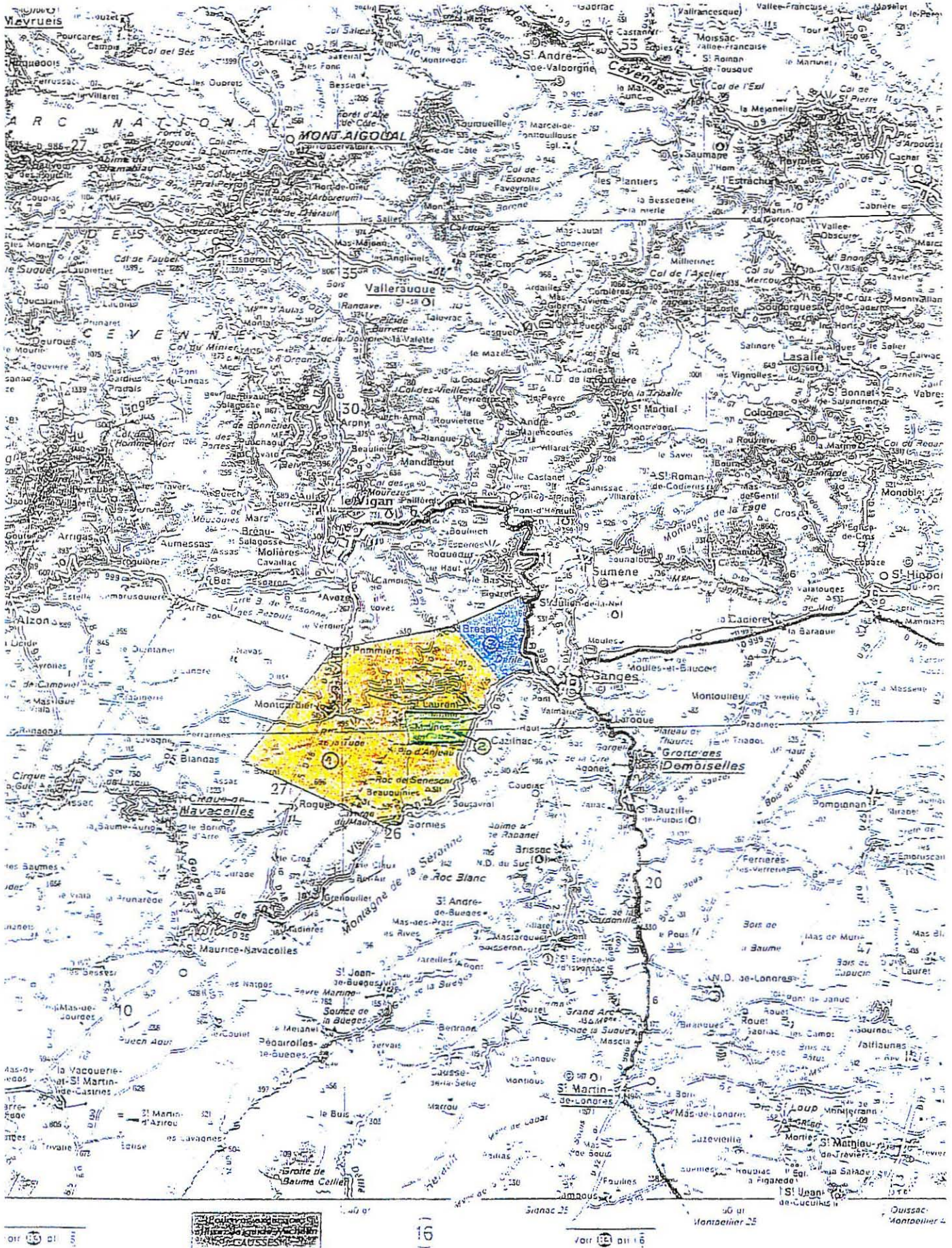


Figure 1 : Localisation de la concession de Saint-Julien-de-la-Nef




















# GEODERIS

CONCESSION SAINT-JULIEN-DE-LA-NEF  
ETUDE PRÉLIMINAIRE AU  
PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES MINIERS

CARTE INFORMATIVE LIÉE  
AUX ANCIENS TRAVAUX SOUTERRAINS

LÉGENDE :

	Zone supposée de vieux travaux miniers		Galerie non trouvée
	Zone de travaux à moins 50 m		Galerie traitée
	Dépot de stérile		Galerie non traitée
			Puits non trouvé
			Puits traité
			Exutoire des travaux miniers

Echelle : 1/5 000

Agrandissement extrait de la carte topographique au 1/25000 de l'I.G.N.

59370R01

# INERIS

5 octobre 2004






# GEODERIS

CONCESSION SAINT-JULIEN-DE-LA-NEF  
 ETUDE PRÉLIMINAIRE AU  
 PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES MINIERES

CARTOGRAPHIE DES ALÉAS  
 LIÉE AUX ANCIENS TRAVAUX SOUTERRAINS  
 ET AUX OUVRAGES DÉBOUCHANT AU JOUR

LÉGENDE :

Aléa fontis	
 Fort	 Moyen
Aléa glissement superficiel	
 Faible	

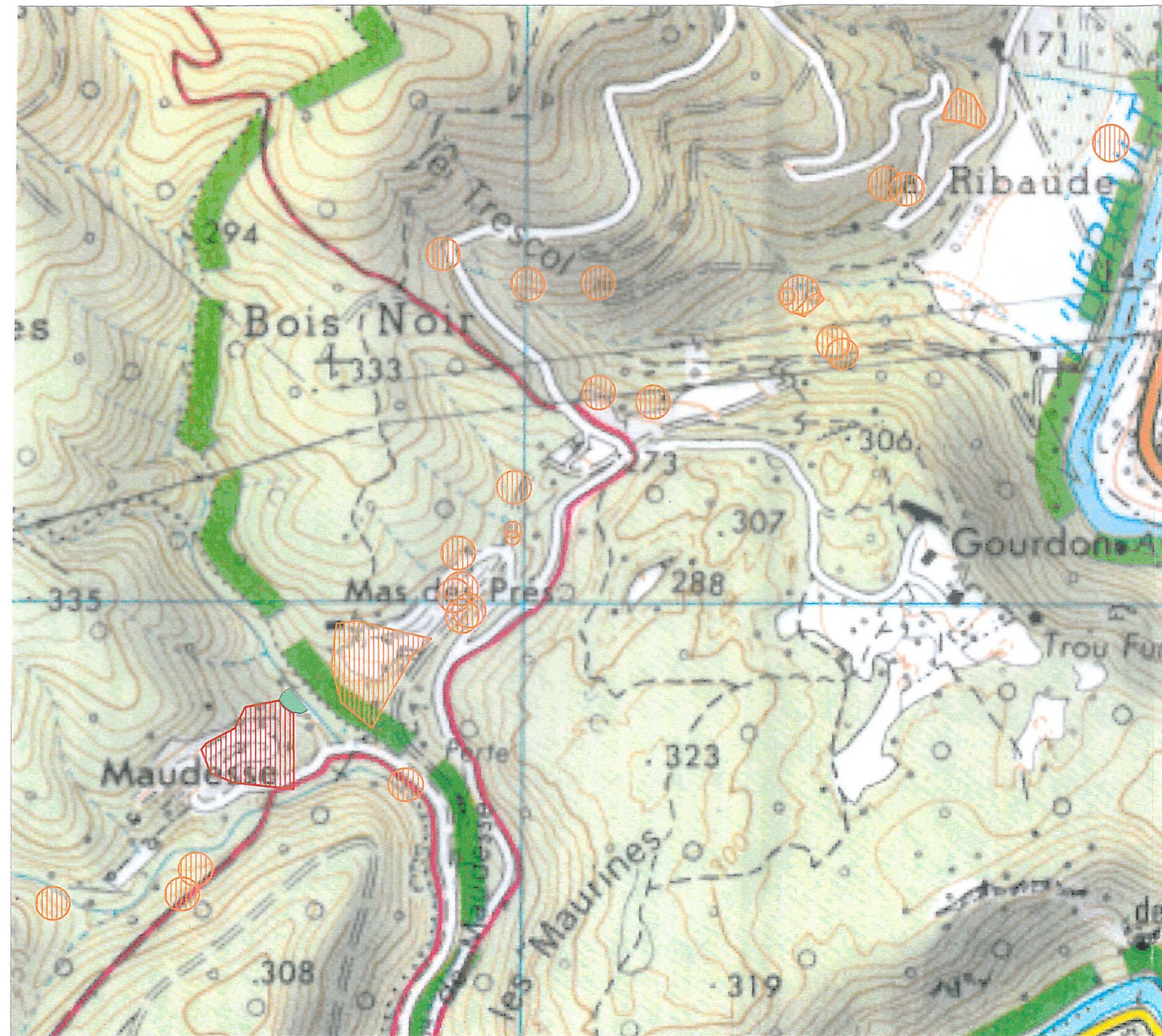
Echelle : 1/5 000

Aggrandissement extrait de la carte topographique  
 au 1/25000 de l'I.G.N

59370R01

# INERIS

5 octobre 2004





# INERIS

Institut national de l'environnement  
industriel et des risques

Parc Technologique ALATA BP 2 F-60550 Verneuil-en-Halatte  
tél +33(0)3 44 55 66 77 fax +33(0)3 44 55 66 99  
e-mail [ineris@ineris.fr](mailto:ineris@ineris.fr) internet <http://www.ineris.fr>