ANTENNE SUD
PIST OASIS 3 – Bât A – Rue de la Bergerie
30319 ALES CEDEX
☎ : 04 66 61 09 80 – 🖹 : 04 66 25 89 68

GEODERIS

Concessions des Bormettes et de La Londe-les-Maures (communes de Bormes-les-Mimosas et de La Londe-les-Maures, Var)

Evaluation et cartographie des aléas miniers

DIFFUSION :

Hubert FOMBONNE	DRIRE PACA (2 ex.)
Jacques BUSSET	Pôle Après-Mine Sud
Dominique MIDOT	GEODERIS D

Réf : GEODERIS S 2008/80 DE - 08PAC2230 **Date : 02/09/08**

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Ph. Baranger	O. Lefebvre	A. Dommanget
Visa			

Siège - 1 Rue Claude Chappe – BP 25198 - 57075 METZ CEDEX 3
☎ : 03.87.17.36.60 - 🖹 : 03.87.17.36.89
TVA INTRACOMMUNAUTAIRE : FR83185722949
GROUPEMENT D'INTERET PUBLIC - SIRET : 185 722 949 00020 - APE : 743B

Concessions des Bormettes et de La Londe-les-Maures (communes de Bormes-les-Mimosas et de La Londe-les-Maures, Var)

Evaluation et cartographie des aléas miniers

SOMMAIRE

1. Cadre et objectif *3*

2. Méthodologie et travaux effectués *4*

2.1. Situation minière / historique **4**

2.2. Déroulement de l'étude **5**

2.3. Risque et aléa **5**

3. Aléas résiduels *6*

3.1. Incertitudes et marges d'affichage **6**

3.2. Nature des aléas résiduels retenus **6**

3.2.1. L'effondrement localisé 9

3.2.2. Le phénomène de tassement 9

3.2.3. Le phénomène de glissement 9

3.2.4. Le phénomène d'écroulement rocheux 9

3.2.5. La pollution des sols, des eaux et des sédiments 9

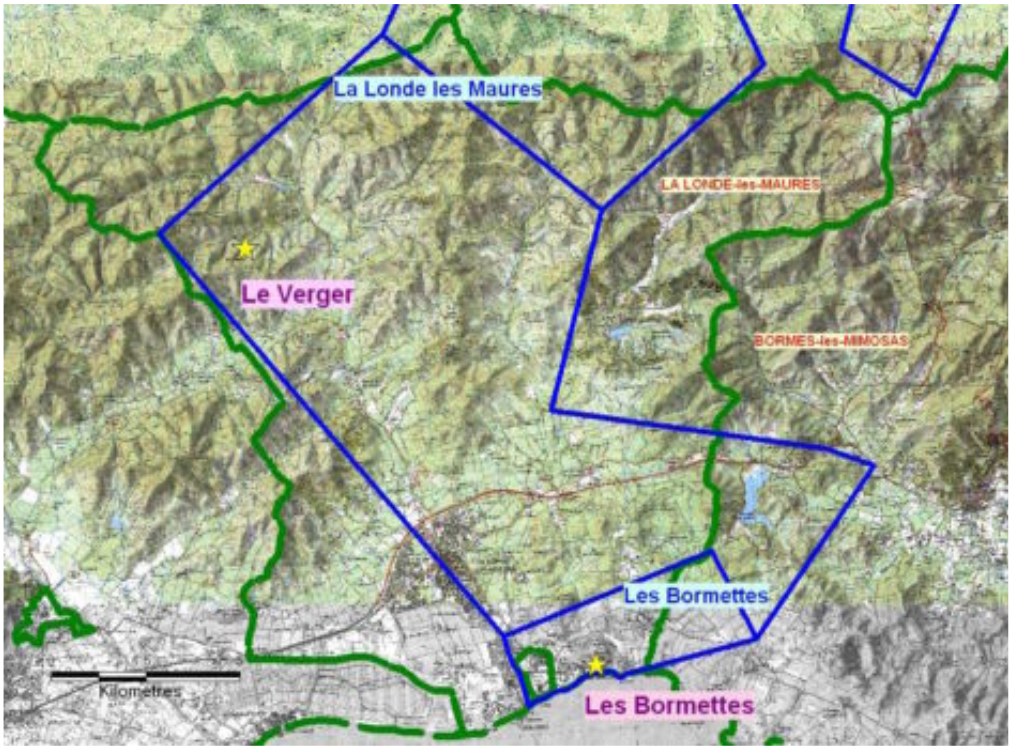
3.2.6. L'émanation de radon 9

4. Conclusion *9*

Mots clés : **PPRM, plomb, zinc, argent, Bormettes, Verger, aléas**

1. CADRE ET OBJECTIF

Les concessions de plomb-zinc-argent des Bormettes et de La Londe-les-Maures sont situées dans le département du Var, à cheval sur les communes de Bormes les Mimosas et de La Londe-les-Maures. Les sites d'exploitation sont le site des Bormettes et celui du Verger.



Noms des communes en rouge, des concessions en bleu et des mines en violet.

Figure 1 : carte de localisation des concessions

La concession des Bormettes a fait l'objet d'une analyse rapide de l'aléa dans le cadre de l'opération scanning en 2005. Cette analyse a débouché sur la nécessité de réaliser une carte détaillée de l'aléa avec une priorité 1.

L'étude détaillée des aléas a été menée par GEODERIS. A la demande de la DRIRE PACA, elle a été étendue au site du Verger situé sur la concession de La Londe.

GEODERIS a sollicité la collaboration du BRGM pour la réalisation de la phase informative et l'évaluation des aléas mouvements de terrain ainsi que de la pollution liée aux deux sites miniers (sites des Bormettes et du Verger).

L'objectif principal de l'étude est ici :

- pour la concession des Bormettes, de préciser et compléter l'analyse effectuée lors de l'opération scanning au niveau des aléas mouvement de terrain

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

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

Elles permettent également d'identifier ou de préciser, à partir des fonds topographiques ou photographiques (orthophotoplan et SCAN 25 de l'IGN) utilisés les zones à risques potentiels : présence d'aléas significatifs sous des enjeux existants (habitations, voiries…).

2. METHODOLOGIE ET TRAVAUX EFFECTUES

2.1. SITUATION MINIERE / HISTORIQUE

Pour les deux concessions, les filons sont encaissés dans les quartzites et les phyllades du massif des Maures, non loin de leur contact avec les grès permiens. Le filon des Bormettes est de direction globalement E-W et présente un pendage de 80° vers le nord. Le filon du Verger est aussi de direction globalement E-W avec un pendage de 70° vers le sud.

L'exploitation pour le plomb de ces filons remonte à la période gallo-romaine et s'est poursuivie de manière épisodique au moyen âge. La concession des Bormettes a été instituée le 11 février 1885 au profit de Jean André Victor ROUX pour le plomb, argent et les métaux connexes. La Société des Mines des Bormettes est alors créée. En plus de la concession des Bormettes, elle obtient en 1891 la concession de la Londe. L'exploitation cessera en 1908 pour les Bormettes et en 1928 pour le site du Verger. La Société des Mines des Bormettes fut liquidée en 1933. Les deux concessions des Bormettes et de la Londe sont alors reprises en 1961 par Penarroya mais les recherches entreprises n'ont pas eu de suite. La société Recylex est aujourd'hui concessionnaire des deux titres miniers et une procédure de renonciation est en cours d'instruction, le dossier de demande de renonciation ayant été déposé en 2006.

Pour les Bormettes, il a été extrait entre 1885 et 1907 825 000 t de minerais qui ont donné environ 161 500 t de zinc et 11 250 t de plomb, la production annuelle variant entre 30 000 t et 60 000 t de minerai. A noter qu'il existe un doute sur ces tonnages qui pourraient en fait correspondre au cumul de la mine des Bormettes et de ses sites satellites.

Pour le Verger, la production était beaucoup moins importante avec un tonnage annuel (minerai à 10 % de Zn et 2 % de Pb) de l'ordre de 16 000 t entre 1900 et 1928.

Pour l'exploitation, le filon était divisé en étages de 20 à 30 m de hauteur. L'exploitation s'est effectuée par tranche montante avec remblayage total par les tailings de la laverie. Les galeries sont de faible diamètre (de l'ordre de 2 m).

2.2. DEROULEMENT DE L'ETUDE

Conformément à la méthodologie des études détaillées des aléas (rapport INERIS DRS-06-51198/R01), l'étude est basée essentiellement sur une analyse documentaire. Ce travail s'appuie sur les informations collectées lors de l'opération scanning au niveau des archives de la DRIRE PACA et des archives départementales du Var à Draguignan. Il s'appuie également sur les informations recueillies à partir des archives communales des Bormettes, des archives Penarroya et du centre de Documentation du BRGM à Orléans.

L'étude est structurée en deux volets :

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

Le rapport comportant les deux volets de l'étude est présenté en annexe A (rapport BRGM/RP-55548-FR). Les cartes informatives sont présentées en annexe B et les cartes d'aléa en annexe C. Des cartes de données environnementales sont fournies en annexe D.

2.3. RISQUE ET ALEA

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

L'aléa est hiérarchisé en l'appliquant à différentes configurations. Les termes « aléa fort » ou « aléa très fort » signifient que les zones concernées sont plus prédisposées à l'apparition de dégradations en surface que les zones « d'aléa moyen » ou « d'aléa faible ». Ils signifient aussi que les phénomènes susceptibles de se produire dans ces zones sont d'un niveau plus élevé.

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

3. ALEAS RESIDUELS

3.1. INCERTITUDES ET MARGES D'AFFICHAGE

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

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

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

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

3.2. NATURE DES ALEAS RESIDUELS RETENUS

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

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

Les tableaux 1 et 2 présentent les phénomènes retenus, les configurations correspondantes, les niveaux d'aléa ainsi que les modalités de cartographie, pour la concession des Bormettes et celle de la Londe.

Aléa	Niveau retenu	Mécanisme	Configuration	Modalités de cartographie
Effondrement localisé	Fort	débourrage, rupture de tête de puits	Puits Saint Victor et puits Sainte Madeleine	Emprise de l'ouvrage (2.5 m pour puits Saint Victor et 3.6 m pour puits Sainte Madeleine) + incertitude de positionnement (< 5m) + influence latérale du cône d'effondrement (5m)
	Moyen	fontis	Zone de filon des Bormettes pour les parties situées entre la surface et 30 m de profondeur	Enveloppe des travaux + incertitude de positionnement (10 m) + influence latérale du cône d'éffondrement (5m); marge d'incertitude de positionnement portée à 20 m aux extrémités ouest du gisement du fait de l'incertitude du calage à cet endroit.
	Moyen	fontis	galerie de la mer	Zone d'influence de la galerie + incertitude de positionnement (< 5 m en tête d'ouvrage et augmente avec la profondeur)
	Faible	débourrage, rupture de tête de puits	Les autres puits de la mine	Emprise de l'ouvrage (< 2m ?) + incertitude de positionnement (10 m pour le puits de la Poudrière et 20 m pour le puits des Casernes) + influence latérale du cône d'effondrement (5m)
	Faible	fontis	Travaux souterrains récents situés entre 30 et 50 m de profondeur	Enveloppe des travaux + incertitude de positionnement (10 m) + influence latérale du cône d'éffondrement (5m); marge d'incertitude de positionnement portée à 20 m aux extrémités ouest du gisement du fait de l'incertitude du calage à cet endroit.
Tassement*	Faible		Travaux situés à moins de 50 m de profondeur	non cartographié
Tassement	Faible		Verse des Bormettes	Emprises de la verse + incertitude de positionnement (5m)
Ecroulement rocheux	Moyen	Chute de pierre	Verse des Bormettes	Emprises de la verse + incertitude de positionnement (5m) + 5 m d'épandage en pied
Emanation radon	à préciser par des investigations complémentaires			non cartographié
Pollution des sols et sédiments**	Contamination en plomb, zinc, antimoine, cuivre et mercure dans la partie basse du site			
Pollution des eaux**	Aucune pollution détectée pour l'échantillon analysé. Doit toutefois être confirmé par des prélèvements complémentaires			

** aléa non cartographié car son zonage se superpose avec celui de l'aléa effondrement localisé dont l'effet en surface est plus prononcé que celui du tassement*

*** aléas non évalués ni cartographiés car la méthodologie correspondante reste non validée à ce jour. Seule l'interprétation des quelques analyses effectuées dans le cadre de ce travail a été réalisée*

Tableau 1 : Concession des Bormettes

Aléa	Niveau retenu	Mécanisme	Configuration	Modalités de cartographie
Effondrement localisé	Moyen	fontis	Zone de filon du Verger pour les parties situées entre la surface et 30 m de profondeur	Enveloppe des travaux + incertitude de positionnement (10 m aux extrémités) + influence latérale du cône d'éffondrement (5m)
	Faible	débourrage, rupture de tête de puits	Les deux puits de la mine	Emprise de l'ouvrage (< 3 m) + incertitude de positionnement (< 5 m pour le puits P1 et < 10 m pour le puits P2) + influence latérale du cône d'effondrement (5m)
	Faible	fontis	Travaux souterrains récents situés entre 30 et 50 m de profondeur	Enveloppe des travaux + Incertitude de positionnement + influence latérale du cône d'éffondrement (5m).
Tassement*	Faible		Travaux situés à moins de 50 m de profondeur	non cartographié
Tassement	Faible		Verses du Verger	Emprises de la verse + incertitude de positionnement (5m)
Glissement	Moyen	Reptations, ravinements superficiels, glissements de "peau"	Verses du Verger	Emprises de la verse + incertitude de positionnement (5m) + 5 m d'épendage en pied
Emanation radon	à préciser par des investigations complémentaires			non cartographié
Pollution des sols et sédiments**	Contamination en plomb, zinc, antimoine, cuivre, cadmium, arsenic et mercure sur les zones de verses			
Pollution des eaux**	Contamination détectée au niveau de l'échantillon d'eau de surface (Zn, Cd, Sb et SO4) et de l'échantillon d'eau souterraine (Zn et As); Doit être confirmée par des prélèvements complémentaires			

** aléa non cartographié car son zonage se superpose avec celui de l'aléa effondrement localisé dont l'effet en surface est plus prononcé que celui du tassement*

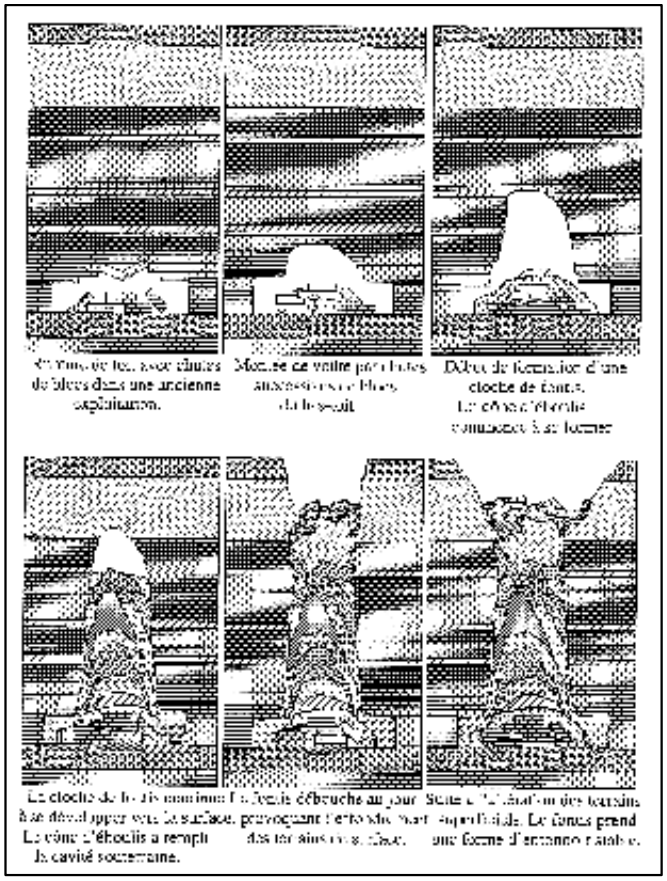
*** aléas non évalués ni cartographiés car la méthodologie correspondante reste non validée à ce jour. Seule l'interprétation des quelques analyses effectuées dans le cadre de ce travail a été réalisée*

Tableau 2 : Concession de la Londe

3.2.1. L'EFFONDREMENT LOCALISE

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

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



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

Effondrement localisé de grande dimension

Pour la concession des Bormettes :

L'aléa effondrement localisé a été retenu avec (tableau 1) :

- **Un niveau fort** au droit des puits Saint-Victor et Sainte-Madeleine.
- **Un niveau moyen :**
  - à l'aplomb du filon uniquement pour les parties où ce dernier est situé entre la surface et 30 m de profondeur.
  - à l'aplomb de la galerie de la mer
- **Un niveau faible** :
  - à l'aplomb des puits de la mine (à l'exception des puits Saint-Victor et Sainte-Madeleine). Il s'agit de puits remblayés ou dallés et peu profonds. A noter que les puits P2 et P3 n'ont pas été observés sur le terrain.
  - à l'aplomb des travaux souterrain récents situés entre 30 m et 50 m de profondeur.

Les modalités de cartographie sont précisées au niveau des tableaux 1 et 2.

Pour la concession de la Londe :

L'aléa effondrement localisé a été retenu avec (tableau 2) :

- **Un niveau moyen** à l'aplomb du filon uniquement pour les parties où ce dernier est situé entre la surface et 30 m de profondeur.
- **Un niveau faible** :
  - a l'aplomb des deux puits de la mine (P1 et P2) ;
  - à l'aplomb des travaux souterrain récents et des galeries isolées, situés entre 30 m et 50 m de profondeur.

3.2.2. LE PHENOMENE DE TASSEMENT

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

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

Pour la concession des Bormettes et celle de La Londe, un aléa tassement **de niveau faible** a été retenu au droit des travaux souterrains situés à moins de 50 m de profondeur et à l'aplomb des verses (la verse des Bormettes et les verses du Verger). A noter que l'aléa tassement situé au droit des travaux souterrains n'a pas été cartographié dans la mesure où l'effondrement localisé (aléa également identifié au droit des travaux souterrains) s'avère plus préjudiciable en surface que le tassement.

3.2.3. LE PHENOMENE DE GLISSEMENT

Il s'agit d'un phénomène généralement lent qui affecte les flancs des dépôts de résidus miniers ou les versants de découvertes creusées en roche meuble. On distingue les glissements superficiels et les glissements profonds.

Pour la concession de la Londe un aléa glissement de **niveau moyen** a été retenu sur les verses du Verger. Ce niveau d'aléa a notamment été dicté par l'épaisseur vraisemblablement importante de matériaux mobilisables entreposés sur cette verse ainsi que par la pente et la hauteur des flans de cette dernière

3.2.4. LE PHENOMENE D'ECROULEMENT ROCHEUX

L'écroulement rocheux est un mouvement soudain qui conduit au détachement d'une masse rocheuse au niveau d'une paroi. La masse rocheuse mise en jeu peut être plus ou moins volumineuse. On parlera ainsi de chute de pierre pour des volumes < 0.1 m^3, de chute de blocs pour des volume compris entre 0.1 m^3 et 10 m^3 et d'écroulement pour des volumes compris entre 10 m^3 et 10^4 m^3. Enfin, on parlera d'écroulements majeurs pour des volumes supérieurs à 10^4 m^3.

Pour la concession des Bormettes un aléa écroulement rocheux de **niveau moyen** a été retenu au niveau de la verse des Bormettes.

3.2.5. LA POLLUTION DES SOLS, DES EAUX ET DES SEDIMENTS

La méthodologie d'évaluation de l'aléa n'étant pas validée à ce jour, le volet environnemental a ici été limité à l'interprétation des quelques analyses effectuées sur les eaux, les sols et les sédiments.

a) Les eaux

Pour le site des Bormetttes, la seule analyse d'eau qui a pu être effectuée (cours d'eaux à secs lors de la visite de terrain) ne met pas en évidence de contamination des eaux liées à la mine. Toutefois, le prélèvement en question porte sur une eau stagnante récupérée en tête du puits Sainte Madeleine. La représentativité de ce prélèvement reste donc très sujette à caution. Afin de procéder à une interprétation fiable de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, il apparaît donc ici nécessaire d'effectuer un plus grand nombre de prélèvements et de points d'analyses, ce qui implique de réaliser une campagne de terrain en période de hautes eaux.

Il en va d'ailleurs de même pour le site du Verger où il n'a aussi été possible que d'effectuer un nombre très restreint de prélèvements (seulement 2 prélèvements effectués), les cours d'eaux étant à secs lors de la visite de terrain. Les analyses ont mis en évidence une contamination au niveau de l'échantillon d'eau de surface (eau prélevée dans un étang). Cela se traduit essentiellement par des teneurs élevées en zinc, cadmium, antimoine et sulfates. L'échantillon d'eau souterraine (suintements au niveau d'une galerie) se caractérise à la fois par une contamination en zinc (teneur qui malgré tout ne dépasse pas la valeur réglementaire de 5 mg/l pour les eaux brutes destinées à l'AEP) et par une contamination en arsenic (teneur deux fois plus élevée que la limite de potabilité).

b) Les sols et sédiments

Pour le site des Bormettes, les analyses effectuées montrent qu'il existe localement une contamination importante des sols situés dans la partie basse du site (points BOR5 et BOR8 ; cf. annexe D). Cette contamination se traduit surtout par des teneurs élevées en plomb, zinc, antimoine, cuivre et mercure. Elle reflète globalement la composition de la source de pollution constituée par les résidus miniers stockés sur le site. Ces derniers se caractérisent en effet par des teneurs élevées à très élevées en plomb, zinc, cadmium, antimoine, cuivre et mercure. Les échantillons de sols prélevés dans la partie haute du site présentent des teneurs en polluants beaucoup moins élevées. Sur le site de la fonderie il n'a pas été détecté de contamination importante, excepté peut être en antimoine où la teneur dépasse les 100 ppm (129 ppm). A noter que ce site constitue un camp de vacances, bétonné et goudronné en presque totalité. Il représente donc une source de pollution peu accessible.

Pour le site du Verger l'analyse des résidus miniers prélevés au niveau d'une des verses (échantillons VER7 ; annexe D) indique des teneurs particulièrement élevées en plomb, en zinc, en antimoine et en cuivre. Des teneurs élevées en cadmium, en arsenic et en mercure y ont également été mesurées. Les analyses effectuées sur les sols, dont certains sont situés à

proximité des verses (cf. annexe D), n'ont pas montré de contaminations importantes en polluants. L'analyse qui a été effectuée sur les résidus sableux de la plate forme située sur une des verses (VER8 ; cf annexe D) montre par contre une contamination en plomb, en zinc, en cadmium, en antimoine, en cuivre, en arsenic et en mercure. A noter aussi que l'analyse de sol réalisée à proximité d'une habitation située en aval du site (VER 4 ; cf. annexe D) montre, de par les teneurs mesurées en plomb, zinc et antimoine un léger impact de la source de pollution que constituent les déchets miniers stockés sur les verses amont. Comparativement aux très fortes teneurs trouvées dans la source de pollution (verse), cet impact reste toutefois limité en terme d'intensité.

Pour compléter les analyses de sols, une analyse de sédiments a également été effectuée sur le site du Verger. Elle a été réalisée sur un prélèvement localisé en aval du bassin (cf. annexe D). Elle n'a mis en évidence aucune contamination significative des sédiments.

Sur la base des analyses réalisées, on retiendra donc que pour le site du Verger, la contamination se restreint aux zones de verses, sans extension latérale marquée ni dissémination vers l'aval (sédiments non contaminés).

3.2.6. L'EMANATION DE RADON

L'émanation de radon est un phénomène à retenir sur les deux sites miniers dans la mesure où les deux communes sur lesquelles sont situés ces sites ont été classées en niveau de susceptibilité fort à très fort (cf. annexe A). Pour ces deux sites, les travaux miniers souterrains ne sont par ailleurs pas totalement ennoyés, ce qui est favorable à une accumulation du radon.

Pour préciser cet aléa, des investigations complémentaires seraient nécessaires, notamment au niveau des caves ou des sous sol des habitations situées à l'aplomb des travaux miniers.

4. CONCLUSION

Pour les mouvements de terrains, les aléas miniers résiduels mis en évidence sont de type effondrement localisé (aléa de niveau faible à fort), tassement (aléa de niveau faible), glissement (aléa de niveau moyen) et écroulement rocheux (aléa de niveau moyen).

Pour l'environnement, la méthodologie d'évaluation de l'aléa n'étant pas validée à ce jour, seule une interprétation des quelques analyses effectuées sur les eaux, les sols et les sédiments a été réalisée. Au niveau du site des Bormettes aucune contamination liée à la mine n'a été observée sur le prélèvement d'eau effectué. Pour le site du Verger, l'analyse réalisée sur l'échantillon d'eau de surface (étang) a mis en évidence une contamination des eaux en zinc, cadmium, antimoine et sulfates. L'analyse effectuée sur l'échantillon d'eau souterraine montre quant à elle une contamination en zinc et en arsenic. Ces interprétations ne sont toutefois basées que sur un nombre très restreint de mesures et nécessitent d'être complétées par un plus grand nombre de prélèvements et de points de mesure. Les analyses effectuées sur les sols montrent qu'il existe localement une contamination en plomb, zinc, antimoine, cuivre et mercure dans la partie basse du site des Bormettes. Pour le site du Verger la contamination se restreint aux zones de verses, sans extension latérale marquée ni dissémination vers l'aval (sédiments non contaminés).

Enfin, pour les deux sites, le phénomène d'émanation de radon reste à préciser. Des investigations complémentaires effectuées au niveau des caves ou des sous sol des habitations situées à l'aplomb des travaux miniers seraient notamment nécessaires.

Les principaux risques mis en évidence pour les mouvements de terrain sont liés à l'aléa effondrement localisé de niveau moyen à fort identifié sur le site des Bormettes. Cette zone d'aléa concerne plusieurs habitations (environ une quinzaine de bâtiments répartis sur l'ensemble de la zone d'aléa).

La proximité du puits Saint Victor (classé en aléa effondrement localisé de niveau fort) avec le pignon d'une maison constitue ici un risque important. Bien que remblayé, ce puits est en effet très profond (560 m), ce qui augmente la prédisposition à un débourrage des remblais. On retiendra aussi les risques liés aux bâtiments situés les plus près des puits profonds et de la tête du filon. Enfin, compte tenu de la présence de plusieurs maisons du lotissement d'Argentière situées en contre bas de la verse du site des Bormettes il convient aussi de signaler des risques liés à l'aléa ecroulement rocheux de niveau moyen. Aujourd'hui, par rapport aux zones de risques recensées au niveau national, la zone d'aléa effondrement localisé de niveau fort apparaît comme prioritaire.

Sur le site du Verger aucun enjeu n'a été identifié par rapport aux aléas mouvements de terrain.

Du point de vue environnemental, les principaux risques mis en évidence sur la base des quelques analyses effectuées sont liés à la contamination des sols à la fois pour le site des Bormettes (maisons situées dans la partie basse du site et maisons situées en contre bas de la verse) et pour le site du Verger (présence d'une habitation occupée à l'année au niveau de la mine et présence d'un manège pour l'entrainement des chevaux construit sur le carreau de la mine). En ce qui concerne les eaux, le nombre très restreint de prélèvements effectués sur les deux sites, ne permet pas d'évaluer l'ensemble des risques. Nous préconisons donc réaliser des prélèvements complémentaires et nous conseillons d'effectuer une enquête plus précise sur les usages éventuels des eaux sur les deux sites.

GEODERIS

ANNEXE A

Phase informative et cartographie des mouvements de terrain
Rapport BRGM/RP-55548-FR

(hors texte)

Document à accès réservé

Mine Pb-Zn-Ag des Bormettes et du Verger
Concessions des Bormettes
et de La Londe-les-Maures (Var)

Phase informative et cartographie des aléas mouvements de terrain

Rapport final

BRGM/RP-55548-FR
décembre 2007

GEODERIS

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document à accès réservé

Mine Pb-Zn-Ag des Bormettes et du Verger
Concessions des Bormettes
et de La Londe-les-Maures (Var)

Phase informative et cartographie des aléas mouvements de terrain

Rapport final

BRGM/RP-55548-FR
décembre 2007

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2007-DEP-D05

D. Artignan, A. Nauchbaur

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : P. BILLAUD	Nom : J. TESTARD
Date : 02/08	Date :
Signature :	Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

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

GEODERIS

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur : **GIP-GEODERIS***, en* **5** *exemplaires conformément aux termes de la convention.*

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

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

Photo de couverture : jeton réservé à l'usage du personnel pour ses achats dans les commerces de la Sociéte des Mines des Bormettes.

Mots clés : Aléa, Mouvements de terrain, Combustion, GEODERIS, Après-mine, Plomb, Zinc, Argent, Effondrement localisé, Fontis, Bormettes, La Londe-les-Maures, Var.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Artignan D., Nachbaur A. (2007) – Mine Pb-Zn-Ag des Bormettes et du Verger. Concessions des Bormettes et de La Londe-les-Maures (Var). Phase informative et cartographie des aléas mouvements de terrain. Rapport final. BRGM/RP-55548-FR, 102 p., 14 fig., 16 tabl., 11 photos, 1 ann., 12 pl. h.t.

© BRGM, 2007, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Les mines des Bormettes et du Verger, situées respectivement sur les concessions des Bormettes et de La Londe-les-Maures, ont été exploitées pour le plomb et le zinc à la fin du XIXe siècle et au début du XXe siècle. Elles appartiennent aux communes de La Londe-les-Maures et Bormes-les-Mimosas, dans le département du Var (83) et la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA).

Compte tenu de la pression immobilière forte de cette région non éloignée de la mer, une démarche, en vue de l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM), a été engagée et financée par la DRIRE/PACA qui a confié au GIP-GEODERIS l'évaluation des aléas dans ce secteur, des aléas pollutions et plus particulièrement des aléas mouvements de terrain. Le BRGM a été sollicité par GEODERIS pour la réalisation de ces travaux qui comprennent trois phases principales :

- la phase informative ;
- l'évaluation des aléas ;
- la cartographie des aléas « mouvements de terrain ».

Les conclusions de cette étude qui comprend un chapitre commun aux deux sites, un chapitre sur Les Bormettes et un chapitre sur le Verger, sont données ci après :

Site des Bormettes

Le site correspond à une zone pavillonnaire comprenant des habitations principales et des résidences secondaires avec jardin et piscine dans un contexte collinéen de pinède.

Les investigations réalisées dans le cadre de cette étude démontrent l'existence de plusieurs aléas dont les plus significatifs sont :

- un aléa « effondrement localisé » moyen à l'aplomb des travaux souterrains anciens de la mine des Bormettes, entre l'affleurement et 30 m de profondeur ainsi qu'à l'aplomb de la galerie de la Mer ;
- un aléa « effondrement localisé » faible à l'aplomb des travaux souterrains récents de la mine des Bormettes jusqu'à 50 m de profondeur ;
- un aléa « tassement » faible à l'aplomb des travaux souterrains jusqu'à 50 m de profondeur ;
- un aléa « effondrement localisé » fort à l'aplomb des deux puits d'exploitation de la mine des Bormettes (puits Saint-Victor et puits Sainte-Madeleine), remblayés et particulièrement profonds (> 560 m). La prédisposition à un débourrage de remblais est estimée à forte ;

- un aléa « écroulement rocheux » de niveau moyen lié à la verse, mettant en péril deux habitations situées en contre-bas ;
- l'existence d'une pollution dans les sols en Pb-Zn-Sb-Hg qui s'exprime plus particulièrement dans les habitations de la partie basse de la colline et sur une verse de déchets miniers où les divers essais de revégétalisation ont été un échec ;
- l'existence d'une prédisposition élevée à l'aléa Radon dans cette exploitation non ennoyée dans sa partie située au-dessus du niveau de la mer.

Le secteur est une zone d'habitations pavillonnaires. Le risque actuel principal est le secteur situé en aléa effondrement localisé moyen à fort, ainsi que l'aléa écroulement sur le site des Bormettes, dans le lotissement de l'Argentière et qui touchent plusieurs villas de la résidence.

Site du Verger

Le site est situé dans une zone très sauvage et difficile d'accès avec une seule habitation occupée à l'année en bordure du site.

Les travaux réalisés dans cette étude ont démontré l'existence de plusieurs aléas dont les plus significatifs sont :

- un aléa « effondrement localisé » moyen à l'aplomb des travaux souterrains anciens de la mine du Verger, entre l'affleurement et 30 m de profondeur ;
- un aléa « effondrement localisé » faible à l'aplomb des travaux souterrains récents jusqu'à 50 m de profondeur ;
- un aléa « tassement » faible à l'aplomb des travaux souterrains jusqu'à 50 m de profondeur ;
- un aléa « glissement » de niveau moyen à la verse du Verger, pour laquelle l'épaisseur des matériaux entreposés pourrait être conséquente ;
- une pollution des eaux de surface et souterraines en **Zn-Cd-Sb-As-SO_4 qui atteignent les limites de potabilité**. Un risque est associé à cette pollution, mal ciblée car les sites de prélèvements sont rares, avec l'utilisation des eaux souterraines pour usage domestique (piscine et potager). Un contrôle de la qualité de l'eau du forage utilisée est à réaliser, ainsi qu'une restriction d'usage pour l'utilisation du bassin de rétention des eaux dans le vallon sous l'habitation considérée ;
- l'existence d'une pollution peu contrastée dans les sols en Pb-Zn-Cu-As-Cd-Hg, qui s'exprime plus particulièrement sur le site même de l'exploitation dans le vallon de la mine mais qui ne se retrouve pas sur les versants. En aval, elle semble se diluer rapidement dans les sédiments. Un risque est associé à cette pollution sol et verses sur le secteur du carreau de la mine où a été installé un manège pour l'entraînement des chevaux. Il conviendrait d'interdire l'utilisation des déchets de la verse pour remblayer les chemins et d'interdire l'utilisation du manège en l'état actuel ;
- enfin, comme pour les Bormettes, le site étant localisé dans un contexte à forte probabilité d'émanation de radon, on y a retenu l'exitence d'un aléa radon fort. La

mine n'étant pas ennoyée, les cavités minières ou au moins les vides résiduels peuvent jouer le rôle de drains privilégiés et il conviendrait sans doute de faire quelques investigations complémentaires dans les habitats situés au droit des travaux miniers en commençant par inventorier ceux qui ont une cave ou un sous-sol enterré.

Aucun enjeu n'est concerné par les aléas mouvements de terrain. Par contre, l'utilisation du site pour le pompage d'eau et les loisirs est à examiner plus en détail.

Sommaire

1. Introduction 13

2. Documents consultés et travaux réalisés 15

3. Contextes géographique et administrative 17

3.1. ACCÈS AUX SITES 17

3.2. SITUATIONS GÉOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIVE 17

4. Contexte général des sites miniers 19

4.1. TOPOGRAPHIE 19

4.2. GÉOLOGIE 19

4.3. HYDROGÉOLOGIE 19

4.4. HISTORIQUE DES CONCESSIONS 19

4.5. STATUT DES CONCESSIONS 21

4.6. MÉTHODE D'EXPLOITATION 21

5. Données informatives de la mine des Bormettes 23

5.1. DESCRIPTION DU FILON 23

5.2. PRODUCTION 23

5.3. INSTALLATIONS DE SURFACE 24

5.4. PLANS MINIERS 27

5.5. OUVRAGES ET VERSE 28

5.5.1. Ouvrages 28

5.5.2. Verse 30

5.6. TRACÉ DE LA TÊTE DU FILON ET ÉPAISSEUR DU RECOUVREMENT 32

5.7. DÉSORDRES 32

5.8. DONNÉES ENVIRONNEMENTALES 33

5.8.1. Résultats 33

5.8.2. Cartographie des résultats 35

5.8.3. Conclusion de la caractérisation environnementale 35

5.9. CARTE INFORMATIVE 35
5.9.1. Calage et digitalisation des plans miniers 35
5.9.2. Précision des reports cartographiques 36
5.9.3. Présentation de la carte informative 36

6. Données informatives de la mine du Verger 39

6.1. DESCRIPTION DU FILON 39

6.2. PRODUCTION 39

6.3. INSTALLATIONS DE SURFACE 39

6.4. PLANS MINIERS 39

6.5. OUVRAGES ET VERSES 40
6.5.1. Ouvrages 40
6.5.2. Verses 43

6.6. DÉFINITION DE LA TÊTE DU FILON 43

6.7. ÉPAISSEUR DU RECOUVREMENT 43

6.8. DÉSORDRES 44

6.9. DONNÉES ENVIRONNEMENTALES 44
6.9.1. Plan d'échantillonnage 44
6.9.2. Résultats 45
6.9.3. Cartographie des résultats 46
6.9.4. Conclusion de la caractérisation environnementale 46

6.10. CARTE INFORMATIVE 46
6.10.1. Calage et digitalisation des plans miniers 46
6.10.2. Précision des reports cartographiques 47
6.10.3. Présentation de la carte informative 47

7. Évaluation des aléas autres que « mouvements de terrain » 49

7.1. PHÉNOMÈNES NON RETENUS 49
7.1.1. Aléa Inondation 49
7.1.2. Aléa gaz de mine (Grisou-CO_2) 49

7.2. PHÉNOMÈNES RETENUS 49
7.2.1. Aléa émanation de radon 49
7.2.2. Aléa Pollution 50

8. Évaluation des aléas « mouvements de terrain ».....53
8.1. IDENTIFICATION DES PHÉNOMÈNES ATTENDUS.....53
8.1.1. Le phénomène d'effondrement localisé.....53
8.1.2. L'effondrement généralisé.....56
8.1.3. Le phénomène d'affaissement progressif.....57
8.1.4. Le phénomène de tassement.....58
8.1.5. Le phénomène d'instabilité de pente.....59
8.2. ÉVALUATION DES ALÉAS « MOUVEMENTS DE TERRAIN ».....61
8.2.1. Aléa effondrement localisé lié aux puits.....61
8.2.2. Aléa effondrement localisé lié aux travaux souterrains (et galerie isolée).....63
8.2.3. Aléa tassement.....68
8.2.4. Aléa instabilité de pente.....69
8.3. RÉCAPITULATIFS DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN RETENUS....70
8.4. PRÉSENTATION DE LA CARTE D'ALÉA.....70
9. Enjeux et risques.....71
9.1. ENJEUX OBSERVÉS SUR LES ZONES D'ALÉA.....71
9.1.1. Site des Bormettes.....71
9.1.2. Site du Verger.....71
9.2. RISQUES MOUVEMENTS DE TERRAIN IDENTIFIÉS.....73
9.3. AUTRES RISQUES IDENTIFIÉS.....73
10. Conclusion.....75
10.1. SITE DES BORMETTES.....75
10.2. SITE DU VERGER.....75
11. Bibliographie.....77

Annexe 1 - Rapports d'essai du laboratoire.....79

Liste des figures

Figure 1 - Situation régionale de La Londe-les-Maures et de Bormes-les-Mimosas. 17
Figure 2 - Concessions des Bormettes et de La Londe-les-Maures sur fond IGN (noms des communes en rouge, des concessions en bleu et des mines en violet)..... 18
Figure 3 - Contexte géologique des sites des Bormettes et du Verger (légende § 4.2.) 20
Figure 4 - Production de minerai des concessions des Bormettes, de La Londe et de la Rieille..... 24
Figure 5 - Localisation de la fonderie des Bormettes (BOR9 = échantillon de sol)..... 27
Figure 6 - Coupe verticale des puits Saint-Victor et Sainte-Madeleine montrant la trace du filon [12 DADT]. 31
Figure 7 - Schéma de principe d'évolution d'un effondrement localisé (d'après Évaluation des Aléas liés au Cavités Souterraines – LCPC, 2002). 53
Figure 8 - Fontis « autocomblé » (d'aprés Bétournay, 2005). 54
Figure 9 - Rupture d'un pilier de couronne dans le cas d'un gisement en dressant (d'après Bétournay, 2005)..... 55
Figure 10 - Principe schématique du mécanisme de l'effondrement généralisé..... 57
Figure 11 - Représentation schématique de plusieurs types d'instabilités de pentes..... 60
Figure 12 - Extrait de la carte d'aléa « effondrement localisé ». (jaune : niveau faible ; orange : niveau moyen ; rouge : niveau fort) 66
Figure 13 - Schéma de construction de l'aléa « effondrement localisé » à l'aplomb des travaux souterrains en gisement penté. 67
Figure 14 - Les Bormettes : carte des risques. 72

Liste des tableaux

Tableau 1 - Coordonnées des ODJ en Lambert II et en WGS84/31T..... 28
Tableau 2 - Tableau synoptique des ODJ. 30
Tableau 3 - Description des points d'échantillonnage. 33
Tableau 4 - Les Bormettes : résultats des analyses d'eau. 34
Tableau 5 - Les Bormettes : résultats des analyses de roche..... 34
Tableau 6 - Les Bormettes : résultats des analyses de sol. 34
Tableau 7 - Coordonnées des ODJ en Lambert II et en WGS84/31T..... 40
Tableau 8 - Tableau descriptif des ODJ 42
Tableau 9 - Épaisseur du recouvrement par niveau..... 44

Tableau 10 - Description des points d'échantillonnage. 44
Tableau 11 - Analyse des échantillons d'eau.....45
Tableau 12 - Analyse des échantillons de minerai.....45
Tableau 13 - Analyse des échantillons de sol et de sédiments de ruisseau 45
Tableau 14 - Échelle de susceptibilté à l'émanation radon [14].....50
Tableau 15 - Susceptibilité radon des communes voisines de la mine[14]. 50
Tableau 16 - Récapitulatif des aléas retenus sur le site des Bormettes.....70

Liste des photos

Photo 1 - Les Bormettes : le bord de mer pendant l'exploitation.....25
Photo 2 - Anciennes installations (concasseurs et laverie). 26
Photo 3 - Conduit des fumées de la fonderie. 26
Photo 4 - Puits Sainte-Madeleine. 28
Photo 5 - Puits Saint-Victor.....29
Photo 6 - Galerie de la mer.....29
Photo 7 - Verse des Bormettes au-dessus de la galerie de la mer 32
Photo 8 - Le Verger. Puits P1 reliant la galerie 3 41
Photo 9 - Le Verger. Galerie 3.....41
Photo 10 - Verses du Verger depuis la galerie G1 42
Photo 11 - Le Verger : vallon de la mine et les trois niveaux de verses.....71

Liste des planches hors-texte

Planche 1 - Les Bormettes : plans des travaux miniers souterrains.
Planche 2 - Les Bormettes : plan filonien est- ouest.
Planche 3 - Les Bormettes : carte informative.
Planche 4 - Les Bormettes : carte des données environnementales.
Planche 5 - Les Bormettes : cartes des aléas MVT.
Planche 6 - Le Verger : plan des travaux miniers souterrains.

Planche 7 - Le Verger : plan filonien.

Planche 8 - Le Verger : carte informative.

Planche 9 - Le Verger : carte des épaisseurs du recouvrement.

Planche 10 - Le Verger : carte des données environnementales.

Planche 11 - Le Verger : carte des aléas MVT (liés aux travaux miniers souterrains).

Planche 12 - Le Verger : carte des aléas MVT (liés aux dépôts miniers).

1. Introduction

Les mines des Bormettes et du Verger, situées respectivement sur les concessions des Bormettes et de La Londe-les-Maures, ont été exploitées pour le plomb et le zinc à la fin du XIXe siècle et au début du XXe siècle. Elles sont localisées sur les communes de La Londe-les-Maures et Bormes-les-Mimosas, dans le département du Var (83) et la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA). L'emprise des travaux miniers souterrains se surimpose, pour la mine des Bormettes, à un secteur aujourd'hui occupé par des villas récentes et, pour la mine du Verger, à des collines de maquis mais toujours soumis à une pression immobilière forte.

Une démarche, en vue de l'établissement d'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM), a dans ces conditions été engagée et financée par la DRIRE/PACA. L'évaluation des aléas de ces secteurs a été confiée au GIP-GEODERIS qui a sollicité le BRGM pour la réalisation de ces travaux. Ceux-ci comprennent trois phases principales :

- la phase informative ;
- l'évaluation des aléas ;
- la cartographie des aléas « mouvements de terrain ».

Le site des Bormettes, pas celui du Verger, est issu des travaux de la convention scanning [8] et a fait l'objet d'un audit de phase 2 pour l'évaluation prélimaire des aléas mouvement de terrain [9].

2. Documents consultés et travaux réalisés

L'étude a débuté par une recherche et une compilation des documents d'archives complétées par des levers de terrain. Les résultats en sont rassemblés dans ce rapport et synthétisés par une version préliminaire de la carte informative. À la fin de cette phase, une visite de terrain a été organisée avec un expert géotechnicien. Ce dernier a par la suite évalué à Orléans les aléas et les a cartographiés. La dernière phase a consisté en la réalisation du rapport final qui est le résultat d'une concertation entre le BRGM et GEODERIS.

Archives visitées	
[1] Archives de la DRIRE[1] à Marseille	Juillet 2005, juin 2006, juillet 2007
[2] Archives communales des Bormettes	Juillet 2007
[3] Archives départementales du Var à Draguignan	Juillet 2005 et janvier 2006
[4] Centre de Documentation du BRGM à Orléans	Juin 2007
[5] Archives Pennaroya	2000

Travaux de terrain	
Visite en mairie de La Londe-les-Maures	Juillet 2007
Rencontre avec le syndicat de gestion du lotissement des Bormettes	Juillet 2007
Levers de terrain	Juillet 2007

Les levers de terrain ont été réalisés en couplant les levers GPS à la carte topographique IGN au 1/25 000 (n° 3446 OT Hyères) et à l'Orthophotoplan de l'IGN fourni géoréférencé au 1/25 000 au format « tif ».

Par ailleurs, pour évaluer les aléas « pollution », des prélèvements d'eau, de sol et de roche ont été effectués sur les sites des Bormettes et du Verger.

[1] DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement.

3. Contextes géographique et administrative

3.1. ACCÈS AUX SITES

Le site des Bormettes se situe au dessus de la plage de l'Argentière en bordure de l'agglomération de La Londe-les-Maures. Il est occupé par un lotissement à accès réglementé, un code est nécessaire pour y pénétrer.

Le site du Verger se visite par le nord-est du site minier. Un chemin entretenu commence sur la D88 à 600 m au sud de « Camp Long » en se dirigeant vers l'ouest.

3.2. SITUATIONS GÉOGRAPHIQUE ET ADMINISTRATIVE

Les deux sites miniers étudiés des Bormettes et du Verger sont situés respectivement sur les deux concessions adjacentes des Bormettes et de La Londe-les-Maures. Ces concessions se localisent à environ 20 km à l'est de Toulon (fig. 1 et 2), dans le département du Var, région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA). Elles appartiennent au territoire communal de La Londe-les-Maures et Bormes-les-Mimosas.

Figure 1 - Situation régionale de La Londe-les-Maures et de Bormes-les-Mimosas.

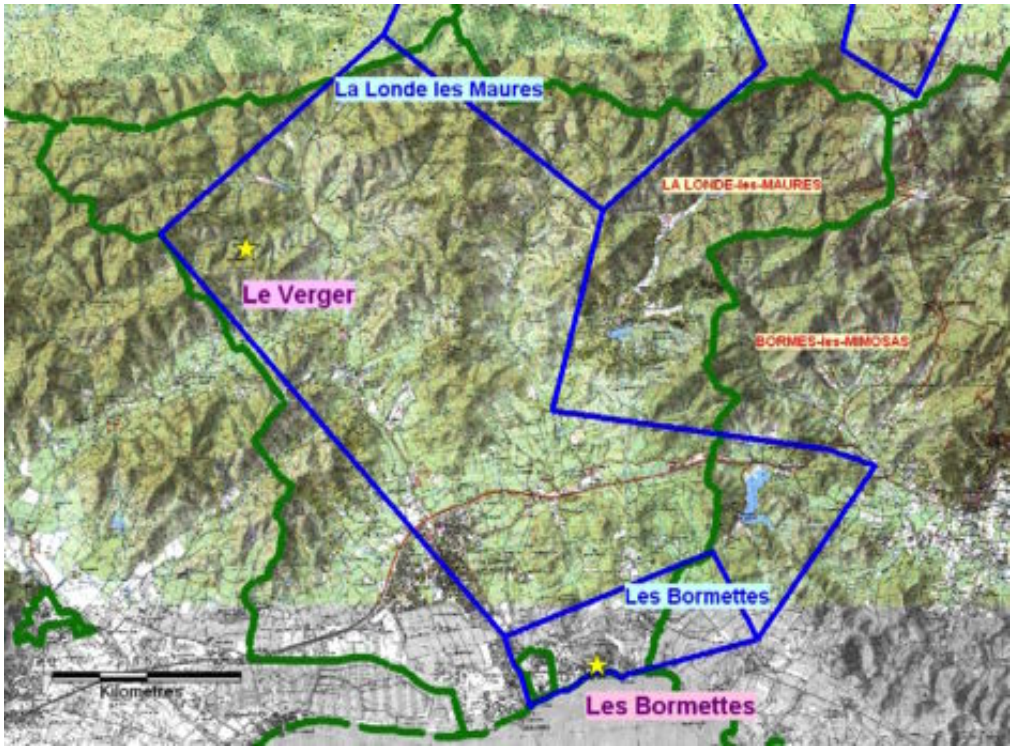


Figure 2 - Concessions des Bormettes et de La Londe-les-Maures sur fond IGN (noms des communes en rouge, des concessions en bleu et des mines en violet).

4. Contexte général des sites miniers

4.1. TOPOGRAPHIE

Les sites miniers sont situés dans le massif des Maures dont la morphologie générale est de type collinéen, recouvert d'un maquis méditerranéen souvent dense de pins, chênes-liège et bruyères et d'altitude faible à moyenne entre 0-200 m NGF. En ce qui concerne le site des Bormettes, il est sur un petit relief directement en bordure de mer, une des galeries principales débouchant sur la plage de l'Argentière.

4.2. GÉOLOGIE

Les concessions de La Londe et des Bormettes appartiennent (cf. carte géologique fig. 3) au massif des Maures constitué de roches métamorphiques, de séries de gneiss et de micaschistes (en gris-bleu-vert), de quartzites et de phyllades (en jaune). Les filons exploités sont de direction globalement est-ouest, avec un pendage variable vers le nord ou vers le sud, en périphérie du massif, non loin de son contact avec les grès du Permien.

Remarque sur l'exploitation des filons : le filon lui-même est quartzeux et résistant ; son exploitation a nécessité l'emploi d'explosifs. À l'inverse, les terrains encaissants, à l'exception des quartzites, sont fracturés et peu résistants ; ils ont nécessité un boisage pendant l'exploitation.

4.3. HYDROGÉOLOGIE

Les terrains cristallophylliens présents sont globalement imperméables. Les seuls aquifères sont les zones fracturées et les parties superficielles altérées. Dans un contexte méditerranéen à pluviométrie relativement faible, cette faible perméabilité s'exprime par un ravinement important, des sources très peu nombreuses et à faibles débits. Le réseau hydrographique et les sources se tarissent durant l'été.

Sur le site des Bormettes, pendant l'exploitation, il est décrit une exhaure de 100 à 130 m^3/jour se faisant par citernes guidées sur les rails des puits de 1 000 m^3 chacune et ce bien sûr au-dessous du niveau de la mer.

4.4. HISTORIQUE DES CONCESSIONS

La mine des Bormettes a été exploitée dès la période gallo-romaine, puis par les Sarrasins. Cependant, l'exploitation ne devient prospère qu'au XIXe siècle pour décliner à partir de 1900 avec la disparition des réserves. Elle fermera en 1908. Rachetée en 1960 par Penarroya, elle ne ré-ouvrira jamais.

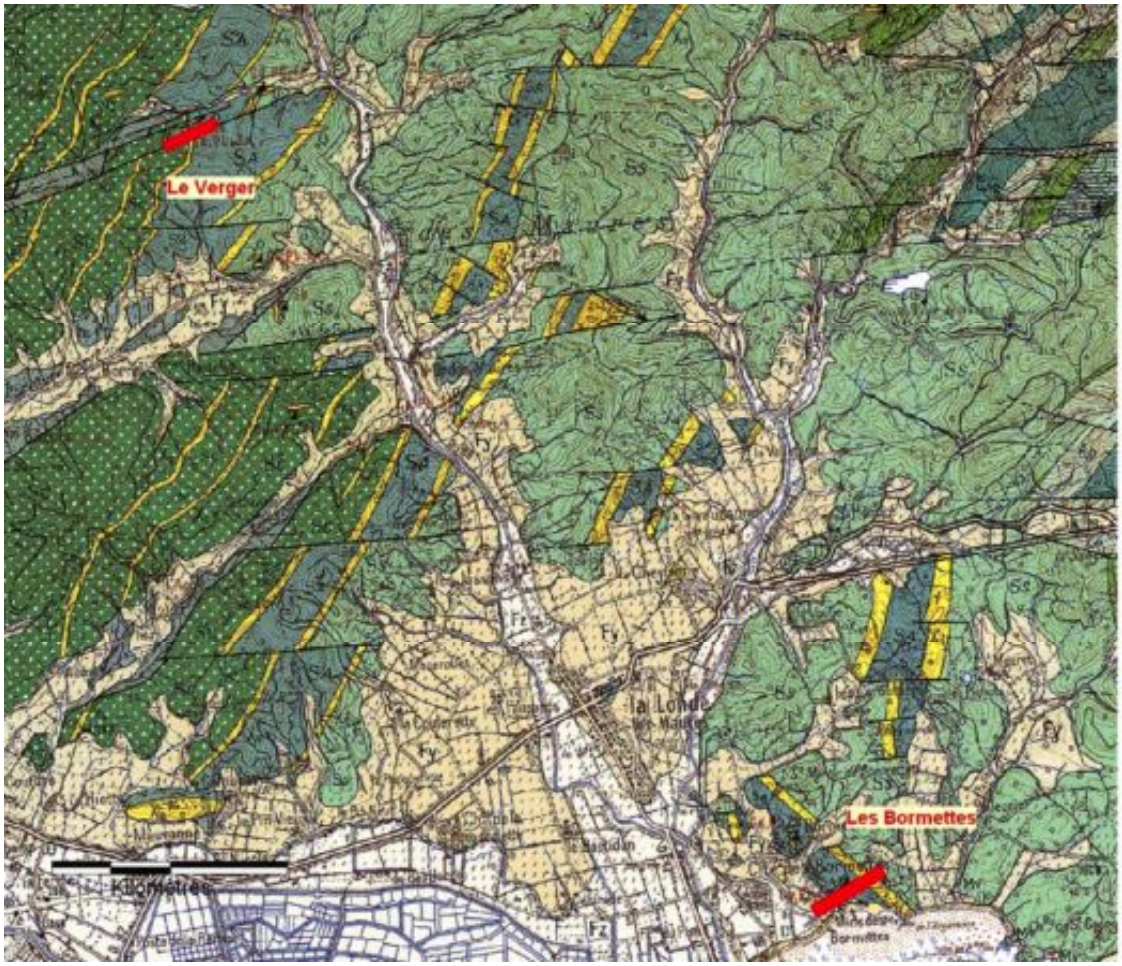


Figure 3 - Contexte géologique des sites des Bormettes et du Verger (légende § 4.2.)

La concession des Bormettes a été instituée le 11 février 1885, au profit de Jean André Victor ROUX, sur une superficie de 474 ha pour le plomb, l'argent et les métaux connexes qui créa alors la Société des Mines des Bormettes. Avec le succès de l'exploitation des Bormettes, la SMB élargit son domaine et obtient, par décret du 13 mai 1891, la concession de La Londe d'une superficie de 4 806 ha. Mais l'exploitation cessera en 1908. Avec une faible production de grattage entre 1919 et 1926 sur les Bormettes et suite à l'arrêt de l'exploitation en 1928 sur le site du Verger, la disparition des réserves a pour conséquence la mise en liquidation de la SMB en février 1933. Après plusieurs mutations sans jamais reprise de travaux, par décret ministériel du 21 septembre 1961 publié au J.O. du 29 septembre 1961, la mutation des concessions est faite à la Société Minière et Métallurgique de Penarroya, qui avec les mines du Verger et de Cogolin envisageait alors un vaste programme de développement.

En 1988, La Société Minière et Métallurgique de Penarroya devient Métaleurop.

4.5. STATUT DES CONCESSIONS

La société Métaleurop est aujourd'hui concessionnaire des deux concessions. Une procédure d'arrêt définitif des travaux a été initiée en décembre 2002. Actuellement, la procédure de renonciation des deux concessions est en cours d'instruction. Après avoir réalisé un dossier de déclaration d'arrêt définitif des travaux miniers en 2003 (DADT) [12], Metaleurop a déposé en 2006 un dossier de demande de renonciation pour ces deux titres miniers.

4.6. MÉTHODE D'EXPLOITATION

La méthode d'exploitation [11 et 16] consistait à diviser le filon en étages de 20 à 30 m de hauteur. Une fois un étage aménagé, on procédait à l'abattage du minerai par tranches horizontales ou gradins de 2 m de hauteur selon la méthode dite en gradins renversés. Chaque gradin exploité était remblayé par des sables de laverie ou des stériles de la mine. Le boisage pendant l'exploitation était constant et important.

En résumé, la mine a été exploitée par tranche montante avec remblayage total par les tailings de la laverie. Les galeries sont de faible diamètre, de l'ordre de 2 m. En planches hors texte, sont donnés à l'échelle du 1/500 les deux plans filoniens est et ouest des Bormettes, ainsi que celui du Verger montrant l'organisation des chambres remblayées extraits du DADT de Métaleurop [12].

5. Données informatives de la mine des Bormettes

5.1. DESCRIPTION DU FILON

Le filon est de direction est-ouest avec un pendage de 80° vers le nord. Dans sa partie ouest, il s'infléchit vers le sud (jusqu'à 30° E) et dans sa partie est vers le nord (jusqu'à 70°E) pour dessiner une forme sigmoïde. Sa puissance n'est pas régulière, elle varie de quelques centimètres à 6 m avec une moyenne de 1,5 m.

La minéralisation est constituée de blende et de galène, accessoirement de bournonite (Cu, Pb, Sb), de chalcopyrite et de pyrite. La galène est faiblement argentifère (entre 1 et 1,5 kg d'Ag par tonne de galène), la blende contient des traces de cadmium. La pyrite est peu abondante.

Accessoirement, on note des traces d'ullmannite (NiSbS) et de cinabre (HgS).

La gangue est constituée de quartz et localement de barytine.

Le filon des Bormettes a été exploité entre la surface (travaux anciens phocéens) et la cote -560 m sur une extension latérale d'environ 500 m. Un plan partiel a été retrouvé dans la thèse de Mignon [13]. C'est le seul plan minier retrouvé dans l'ensemble des archives accessibles visitées lors des différentes études. Les archives de Métaleurop, visitées en 2000, n'ont rien montré de plus que les archives de la DRIRE.

Le gisement des Bormettes, avec une production totale de l'ordre de 900 000 t de tout-venant, des teneurs de 18 % Zn, 2 % Pb contenant de 100 à 200 g/t Ag, reste jusque dans les années 1930 le plus gros gisement filonien de France.

5.2. PRODUCTION

Entre 1885 et 1907, il a été extrait des Bormettes 825 000 t de minerais dont on a extrait environ 161 500 t de zinc et 11 250 t de plomb. On peut estimer en moyenne une extraction annuelle variant entre 30 000 t et 60 000 t de minerais (fig. 4). Un doute existe sur ces chiffres, en particulier sur la production métallique qui paraît trop élevée pour la seule mine des Bormettes ; elle semblerait plutôt correspondre au cumul de la mine des Bormettes et de ses sites satellites.

On notera qu'à la fin du XIXe siècle la mine employait de l'ordre d'un millier de personnes dans ses différentes activités. La plupart était constituée par une main d'œuvre étrangère d'origine indochinoise alors baptisée « les Annamites », ou encore « les Javanais » [20].

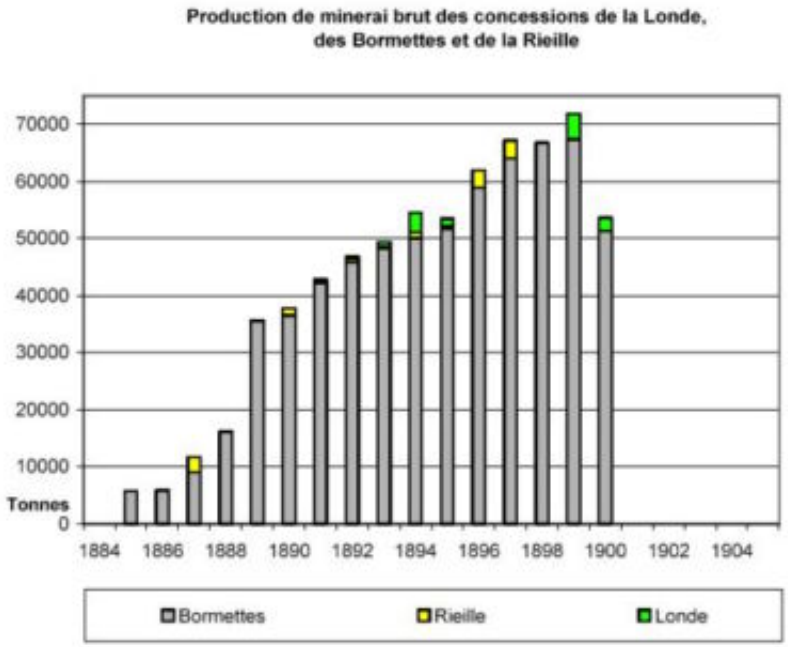


Figure 4 - Production de minerai des concessions des Bormettes, de La Londe et de la Rieille.

La production journalière était de 220 t en trois postes de huit heures. Le minerai, après concentration par gravité, était vendu et expédié par voie maritime vers les fonderies de Hollande à partir d'un ponton de 90 m situé sur la plage de l'Argentière.

L'essentiel de la production a été assurée par deux puits distants de 65 m. Le plus ancien, le puits Saint-Victor, a atteint la cote de -560 m avec un diamètre utile de 2,5 m et était surmonté par un chevalement métallique de 12 m de hauteur. Plus tard, le puits Sainte-Madeleine, d'un diamètre de 3,2 m, situé plus au sud, a été foncé jusqu'à la cote -560 m. Ces deux puits étaient entièrement muraillés. Le dernier puits à être foncé a été celui des Casernes. Deux autres puits de reconnaissance avec une profondeur d'une cinquantaine de mètres sont à noter : le puits Saint-Georges et de la Poudrière ; ils ne seront jamais utilisés pour l'exploitation. Il n'existe aujourd'hui plus aucune trace de ces trois derniers puits. Seuls deux d'entre eux ont pu être localisés sur la carte informative (voir ci-après).

5.3. INSTALLATIONS DE SURFACE

Le site minier des Bormettes comprenait plusieurs installations industrielles importantes à l'époque. Ce sont :

- une usine de traitement des minerais située sur six étages entre les puits et la plage de l'Argentière. Cette usine, baptisée « laverie » (photos 1 et 2), avait pour objectif de produire un concentré commercialisable. Le process était basé sur le broyage et la séparation gravimétrique. Plus rien ne subsiste à ce jour de ces installations ;

- un ponton d'embarquement du minerai sur la plage au pied de la mine. Il était équipé d'une grue à bras. C'est aussi par ce ponton qu'arrivait le matériel nécessaire à la mine. Il n'est plus visible à ce jour ;
- une fonderie, au nord de la mine, a été construite en 1897 et abandonnée en 1906 sans avoir réussi à produire des quantités importantes de métaux. Ce fut un échec. Aujourd'hui, le site est occupé par le centre de vacances Azureva. Seul le conduit couché des fumées est encore visible, la cheminée ayant été détruite (photo 3, fig. 5) ;
- une cité minière dite « citée des annamites » en référence aux nombreux étrangers travaillant sur la mine [20, les Javanais] ;
- un train reliant ces différents sites entre eux et avec les autres sites miniers du secteur, en particulier le site du Verger. Seul les terrassements et quelques ouvrages d'art soulignent encore son tracé.

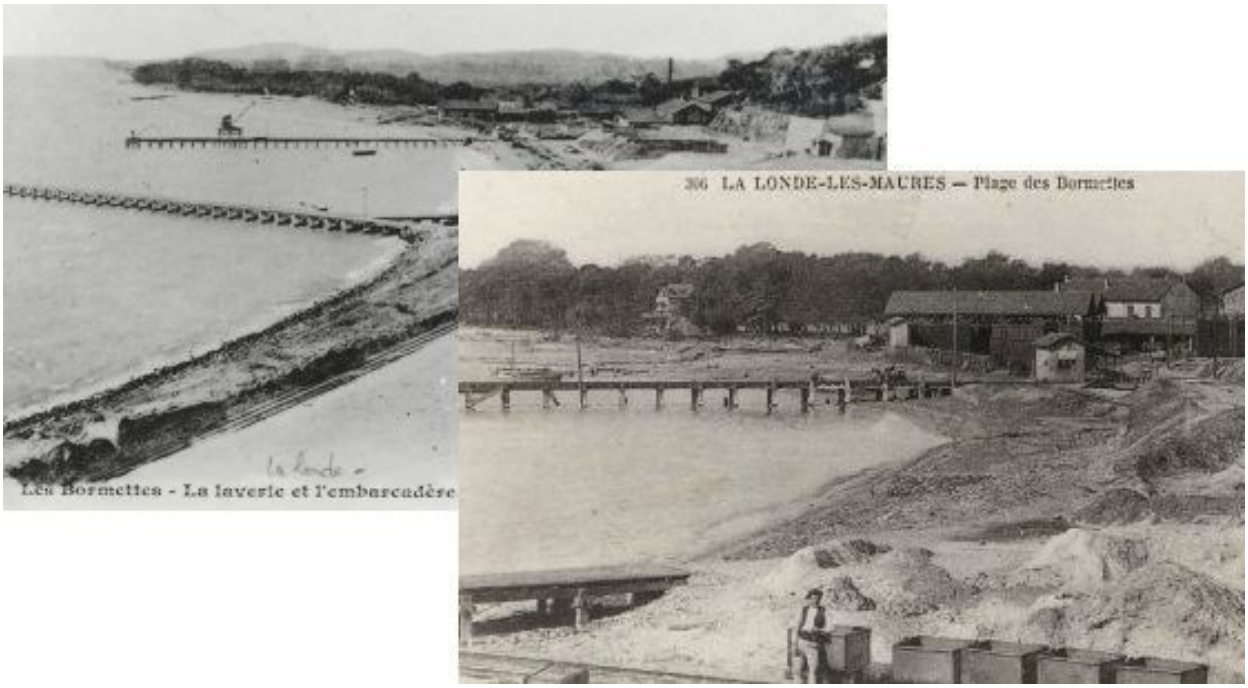


Photo 1 - Les Bormettes : le bord de mer pendant l'exploitation.

Photo 2 - Anciennes installations (concasseurs et laverie).

Photo 3 - Conduit des fumées de la fonderie.

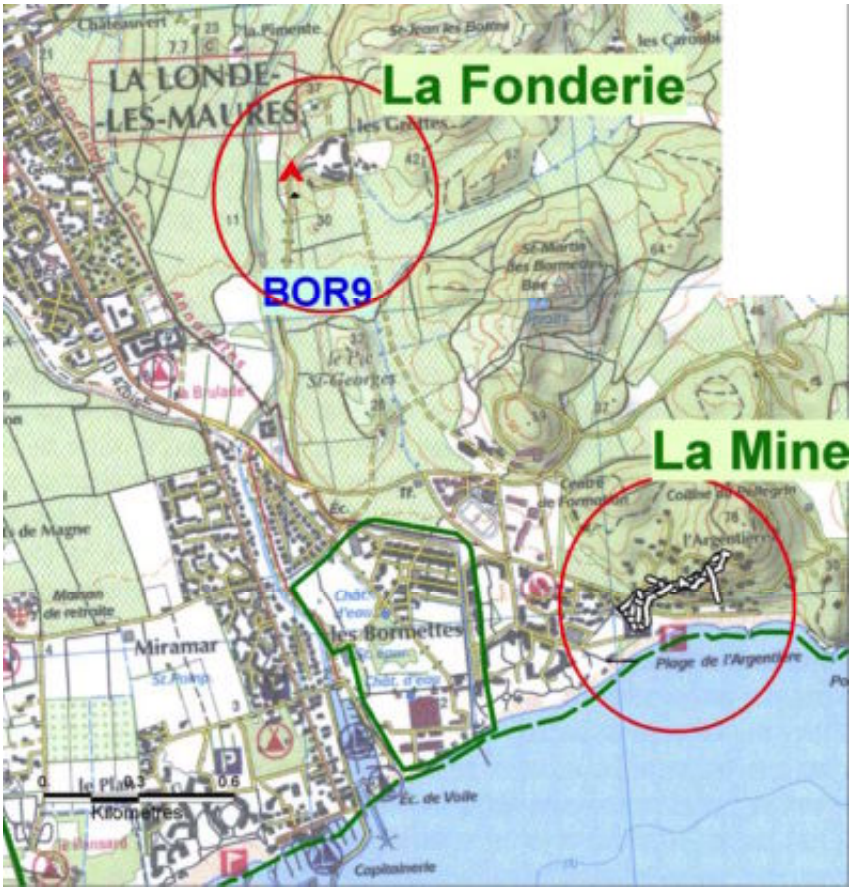


Figure 5 - Localisation de la fonderie des Bormettes (BOR9 = échantillon de sol).

5.4. PLANS MINIERS

Les seuls plans miniers disponibles et donnés en planche hors texte sont :

- le plan des galeries en 1890 à l'échelle du 1/1 000 redessiné dans la thèse de R. Mignon [13] (pl. 1) ;
- une coupe verticale des puits Saint-Vicor et Sainte-Madeleine (fig. 6) [12 DADT] ;
- un plan filonien des Bormettes (pl. 2), publié à l'échelle du 1/500 dans le DADT de Métaleurop [12]. On y distingue :
  - quatre puits et un travers banc (galerie de la mer) qui est tracé à la cote 0 m NGF,
  - des galeries anciennes sur deux niveaux aux cotes +3 m NGF (galerie romaine) et -5 m NGF (galerie phocéenne),
  - des galeries modernes sur au moins dix niveaux aux cotes NGF -35, -98, -108, -140, -190, -200,-230,-260,-290 et -320 jusqu'au niveau -470 m, par rapport au niveau de la mer.

Les galeries ont été redessinées sur la carte informative, redressées et géoréférencées.

5.5. OUVRAGES ET VERSE

5.5.1. Ouvrages

Un ensemble de cinq ouvrages débouchant au jour (ODJ) peut être retenu sur les plans disponibles. Tous ont été comblés il y a longtemps. Seule, la galerie de la mer a été conservée et fermée par une grille récemment.

Ils sont décrits dans les tableaux 1 et 2 ci-après et illustrés par les photos 4, 5 et 6.

Référence	X - LII	Y- LII	X - WGS84 Z 32 T	Y - WGS84 Z 32 T
P1	919806	1799086	277157	4778072
P2	--	--	--	--
P3	--	--	--	--
P4	919871	1799097	277222	4778078
G1	919976	1799022	277321	4777995
V1	919997	1799039	277343	4778010

Tableau 1 - Coordonnées des ODJ en Lambert II et en WGS84/31T.

Photo 4 - Puits Sainte-Madeleine.

Photo 5 - Puits Saint-Victor.

Photo 6 - Galerie de la mer.

Référence	P1	P2	P3	P4	G1
Nom de l'ouvrage	Puits Saint-Victor	Puits des Casernes	Puits de la Poudrière	Puits Sainte-Madeleine	Galerie de la mer
Sources (GPS, calage, autres …)	Orthophoto/GPS	Plan minier	Plan minier	Orthophoto/GPS	Orthophoto/GPS
Visible (Oui/Non)	oui	non	non	oui	oui
Incertitude de position	< 5 m	10 m	10 m	<5 m	<5 m
Type d'ouvrage	Puits	Puits	Puits	Puits	Galerie
Date de fonçage	XIXe	XIXe	XIXe	XIXe	XIXe
Diamètre	2,5 m	? (<2)	? (<2)	3,6 m	2 m
Cote début	+12 m	0 m	+23 m	+24 m	0 m
Profondeur fin	-560 m	?	50 m	-560 m	0 m
Longueur	572 m	-	-	584 m	>150 m
Émergence (oui/non)	non	non	non	oui ?	non
Périmètre accessible	oui	oui	oui	oui	oui
Ouvrage pénétrable	non	non	non	non	oui
Observations	Comblé, muraillés	?	?	Muraillé, comblé jusqu'à 5 m surface	Porte à barreaux
Photos	N° 5	---	---	N° 4	N° 6

Tableau 2 - Tableau synoptique des ODJ.

5.5.2. Verse

Il existe sur le site une verse (photo 7, pl. 3) située à l'est de la galerie de la mer sur la falaise (de coordonnées 277343 - 4778010 WGS84). Les matériaux rocheux issus de la mine, dont du minerai, de toutes granulométries ont été déposés sur une pente rocheuse très forte à pente supérieure à 50° vers la mer. Ce dépôt est instable et non végétalisé du fait de sa composition de matériaux à sulfures abondants. Cette verse, qui domine un parking et des villas, s'étend sur une surface de l'ordre de 500 m² et sur 1 à 3 m d'épaisseur. Des blocs s'en détachant fréquemment, cette verse a été recouverte par un grillage par la copropriété.

Enfin, on trouve autour du site de la fonderie des éléments de scories mélangés aux sols qui constituent le soubassement du centre de vacances.

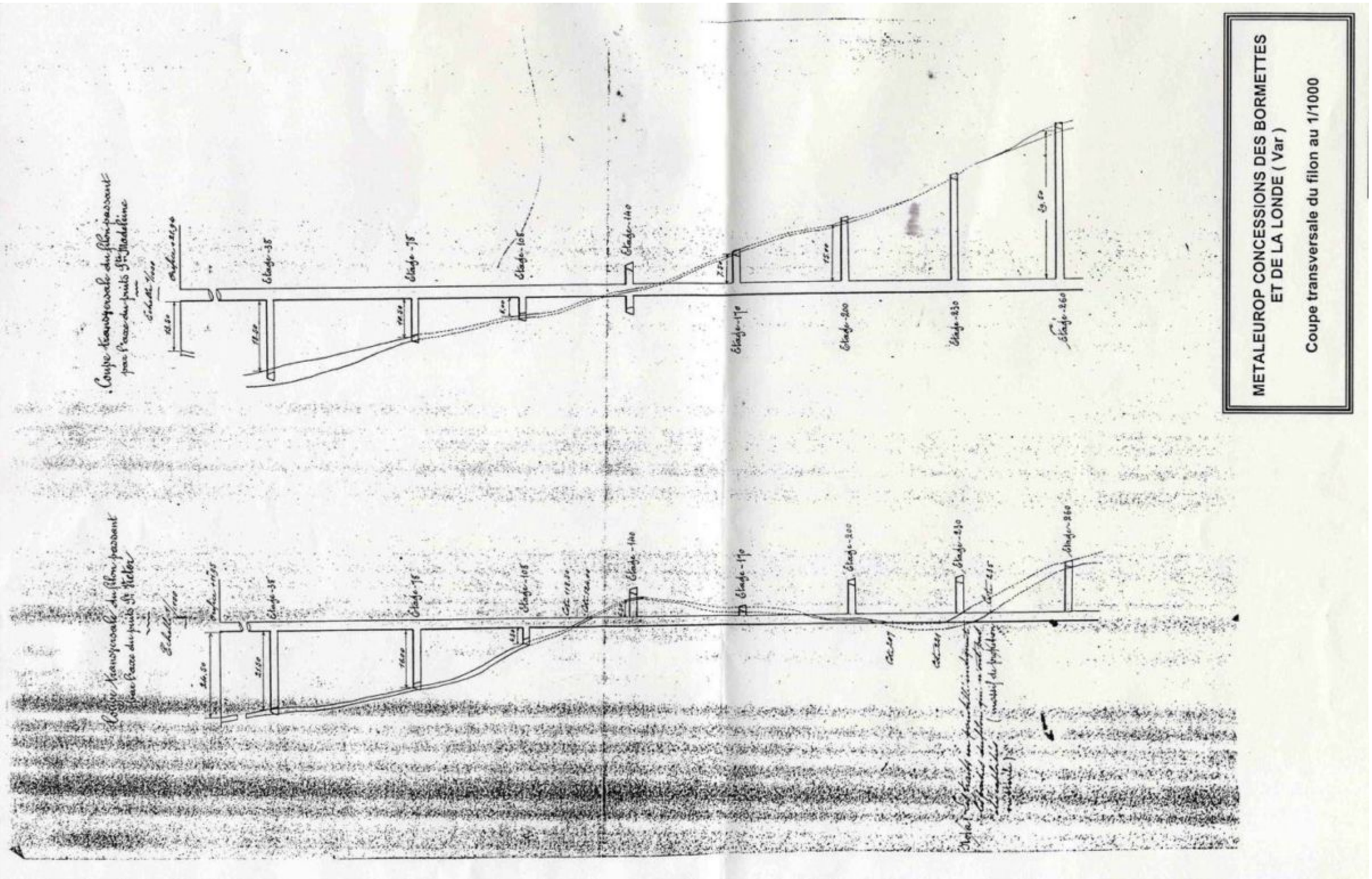


Figure 6 - Coupe verticale des puits Saint-Victor et Sainte-Madeleine montrant la trace du filon [12 DADT].

Photo 7 - Verse des Bormettes au-dessus de la galerie de la mer.

5.6. TRACÉ DE LA TÊTE DU FILON ET ÉPAISSEUR DU RECOUVREMENT

En reprenant le plan de la thèse de R. Mignon et les indications des coupes de puits, il a été dessiné la trace de l'affleurement du filon en surface. Cette ancienne et sans doute toute première zone d'exploitation est sans recouvrement. Elle passerait à 25 m au sud du puits Saint-Victor et 15 m au sud du puits Sainte-Madeleine.

Ailleurs, on peut se guider sur les niveaux exploités et définis sur les coupes frontales et sur le plan de la thèse Mignon. Les niveaux dessinés sur la carte informative y correspondent à des cotes par rapport au niveau de la mer. Pour ces niveaux, l'épaisseur du recouvrement est donc la somme de la profondeur de la galerie considérée (valeur absolue de la cote) et de l'altitude dessinée par les courbes de niveaux.

5.7. DÉSORDRES

On note l'effondrement, le 7 octobre 1900, du puits Sainte-Madeleine et la dislocation de la maçonnerie du puits Saint-Victor.

De plus, le propriétaire du 32 Chemin de la Corniche signale qu'il a constaté un tassement d'ordre métrique dans son jardin au droit du puits Saint-Victor il y a une dizaine d'années.

Aucun autre désordre n'est à signaler.

L'observation de la « Galerie de la mer » montre un bon état de conservation sans éboulement dans ses vingt premiers mètres.

Enfin, l'exploitation était réputée dangereuse et l'instabilité des terrains a nécessité un boisage important.

Notons qu'aucun écrit ne décrit d'éventuels affaissements en surface suite à l'exploitation.

5.8. DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Afin de tester l'existence de métaux pouvant présenter un danger pour la santé et les écosystèmes et donc d'un éventuel aléa pollution, il a été collecté des échantillons de sols, de minerais et d'eaux pour analyses géochimiques. Ces prélèvements ont été réalisés selon les normes ISO et les analyses effectuées dans les laboratoires du BRGM à Orléans.

5.8.1. Plan d'échantillonnage

Réf	Type	Granulo	X WGS84 Z32T	Y WGS84 Z32T	Observations
BOR1	Sol	<1 mm	277458	4778073	Chemin de la Corniche
BOR2	Roche	5 à 10 cm	277330	4778028	Verse (minerai, roche)
BOR3	Sol	<1 mm	277268	4778157	Chemin des hautes vues
BOR4	Sol	<1 mm	277200	4778235	Chemin de la colline
BOR5	Sol	<1 mm	277124	4778066	
BOR6	Eau		277223	4778078	Eau croupie en tête du puits Sainte-Madeleine à 2 m de profondeur sous la dalle
BOR7	Sol	<1 mm	277182	4778182	
BOR8	Sol	<1 mm	277234	4778006	
BOR9	Sol	1 mm et 10 cm	276106	4779480	Fonderie, sol à scories

Tableau 3 - Description des points d'échantillonnage.

Ces points sont cartographiés sur la carte informative (pl. 4).

5.8.2. Résultats

Les bordereaux d'essais fournis par le laboratoire sont donnés en annexe 1.

On en retiendra les points remarquables listés dans le tableau ci-après.

a) Analyse d'eau

Avec un pH proche de la neutralité, cette analyse d'eau, dont on ne connaît pas l'origine, ne montre pas de contamination particulière par des produits d'origine minière. Cependant, cette eau croupie et stagnante est peu significative.

Réf.	Pb ppb	Zn ppb	Cd ppb	Sb ppb	Cu ppb	As ppb	Hg ppb	SO_4 ppm
BOR 6	8	26	< 2	<5	6	< 5	< 0.05	18

Tableau 4 - Les Bormettes : résultats des analyses d'eau.

b) Analyse de roche

L'analyse du solide, avec la présence à des teneurs élevées en Zn-Pb-Sb-Cd-Hg, montre bien qu'il s'agit de résidus de minerais qui doivent être considérés comme des sources de pollution potentielle, en particulier en cas ingestion ou d'inhalation.

Réf.	Pb %	Zn %	Cd ppm	Sb ppm	Cu ppm	As ppm	Hg ppm
B0R 2	0,4	1,87	48	1 490	845	51	6,2

Tableau 5 - Les Bormettes : résultats des analyses de roche.

Le cuivre et l'arsenic sont présents, mais ne peuvent pas être considérés comme anomaux.

c) Analyse de sol

Les analyses de sol réalisées sont révélatrices d'une pollution par une source telle qu'analysée dans les résidus ci-dessus. Localement, les teneurs en Pb-Zn-Sb-Hg peuvent représenter un danger pour la santé en cas d'ingestion ou d'inhalation.

Le cuivre et l'arsenic sont présents, mais ne peuvent pas être considérés comme anomaux, ils sont sans doute proches du fond géochimique local.

Réf.	Pb ppm	Zn ppm	Cd ppm	Sb ppm	Cu ppm	As ppm	Hg ppm
BOR 1	86	165	< 2	27	12	26	0,1
BOR 3	332	572	< 2	54	22	22	0,31
BOR4	79	227	< 2	20	7	< 20	0,08
BOR 5	3 980	7 700	21	554	233	47	11,8
BOR 7	165	566	< 2	24	56	30	0,4
BOR 8	3 760	6 380	15	1 020	389	61	10,9
BOR 9	804	632	< 2	129	81	36	0,69

Tableau 6 - Les Bormettes : résultats des analyses de sol.

5.8.3. Cartographie des résultats

Cette cartographie a été réalisée en figure 7 et planche 4 sur l'orthophotoplan pour le site des Bormettes et en figure 5 sur la carte topographique IGN pour le site de la fonderie (échantillon BOR 9).

5.8.4. Conclusion de la caractérisation environnementale

Ce premier échantillonnage montre que le minerai est une source potentielle de pollution en Pb-Zn-Cd-Hg-Sb.

La qualité de l'eau prélevée dans le puits ne montre pas cette pollution, mais l'échantillon prélevé n'est pas significatif. Par contre, elle est avérée dans les sols. Dans les sols, la figure 7 semble démontrer l'existence de deux secteurs principaux sur le site de la mine :

- dans la partie haute située au dessus de 20 m, aucune teneur en sol n'est vraiment significative et semblerait plus appartenir au fond géochimique ;
- la partie basse se caractérise par de fortes valeurs, traduisant une pollution.

En conclusion, la partie basse du site, correspondant aux anciennes installations de la mine (laverie, concassage…), présente une pollution avérée.

Par ailleurs, le site de la fonderie ne semble pas présenter de valeurs particulièrement élevées par rapport à ce que doit être le fond géochimique dans ce secteur. Il est à noter que l'ancienne plateforme de la fonderie, aujourd'hui occupée par le village de vacances, est entièrement recouverte par des bâtiments et des surfaces goudronnées qui ne donnent pas accès aux sols pollués qui existent probablement.

5.9. CARTE INFORMATIVE

5.9.1. Calage et digitalisation des plans miniers

Le plan a été calé et redressé, puis digitalisé et géoréférencé. Les plans de la mine des Bormettes à 1/1 000 et 1/500 ont été scannés et restitués au format numérique « .jpg ». Les images ont ensuite été redressées à l'aide du module de géoréférencement du logiciel ArcGis en utilisant une loi polynomiale du premier ordre. Un fichier « .tiff » géoréférencé a été constitué à la suite de ce traitement pour être directement exploitable avec MapInfo.

Les ouvrages débouchant au jour (ODJ) de ces deux sites sont peu nombreux et pas bien répartis dans l'emprise des travaux. Les coordonnées des ODJ ont été mesurées au GPS et controlées sur l'orthophotoplan, images sur lesquelles ils sont visibles.

Trois points de référence ont été utilisés pour géoréférencer le plan minier :

- le puits Saint-Victor ;

- le puits Sainte-Madeleine ;
- l'entrée de la galerie de la mer.

Une loi polynomiale d'ordre 1 affectée à ces points induit une faible déformation du plan, indiquant ainsi la bonne qualité de ces points de référence. Notons que c'est dans la partie SW, au niveau du puits des Casernes, que l'incertitude est la plus élevée. L'incertitude globale de géoréférencement de ce plan se réduit à l'incertitude de la mesure GPS et à la déformation du plan, soit environ 10 m.

En conclusion pour ce plan, la déformation générale apportée à l'image est relativement faible, on peut donc considérer que la précision de géoréférencement est inférieure à la dizaine de mètres. Il paraît difficile d'améliorer cette précision compte tenu des informations et des observations possibles en surface.

5.9.2. Précision des reports cartographiques

a) Précision IGN

L'exactitude planimétrique de la BD ORTHO mesure l'écart entre les coordonnées mesurées sur l'image et les coordonnées terrain. Sur la feuille IGN Hyères, cette exactitude attendue est < 2 m.

b) Mesures de terrain

Les mesures et contre-mesures faites au GPS sur le terrain montrent que le GPS situe le point dans un cercle de 10 m de diamètre.

c) Calage du plan

Une incertitude de l'ordre de 10 m peut être retenue lors du calage du plan de mine dans la zone centrale où les ODJ ont été observés. Aux extrémités est et ouest de la zone d'exploitation, l'incertitude est plus grande mais reste difficilement quantifiable, car tout dépend de la précision des levers de travaux miniers souterrains. Elle pourrait atteindre environ 20 m à l'extrémité ouest du gisement.

5.9.3. Présentation de la carte informative

Les éléments présentés sont dessinés au 1/10 000 (pl. 2). Le support géographique est l'orthophotographie de l'IGN, dont l'échelle originale est compatible avec une échelle de travail de l'ordre du 1/5 000 de l'IGN dont l'échelle originale est le 1/25 000.

Cinq niveaux d'information sont reportés sur cette planche :

- la géographie et l'occupation des sols avec les orthophotographies ;
- les courbes de niveau topographique extraites de la carte IGN à 1/25 000 et digitalisées dans MapInfo ;

- les travaux miniers avec une couleur par niveau ;
- les ouvrages et désordres en distinguant observés/non observés ;
- la trace en surface de la tête du filon supposé et repéré sur le terrain.

Les résultats définissant la pollution des sols par le minerai sont reportés sur l'orthophotoplan (fig. 7).

6. Données informatives de la mine du Verger

6.1. DESCRIPTION DU FILON

Le filon est de direction est-ouest avec un pendage de 70° vers le sud.

Sa puissance n'est pas régulière, elle varie de quelques centimètres à 6 m avec une moyenne de 1,5 m.

La minéralisation est constituée principalement de blende et de galène en faible quantité, accessoirement de bournonite (Cu, Pb, Sb), de chalcopyrite et de pyrite. La gangue est constituée de quartz.

Le filon du Verger a été exploité sur 14 niveaux entre la surface à la cote + 164 m NGF et la cote -217 m NGF du niveau 14, sur une extension latérale d'environ 500 m (pl. 6). Un plan filonien et un plan des galeries sont reproduits dans le dossier DADT de Métaleurop [12]. Ce sont les seuls plans miniers retrouvés dans l'ensemble des archives accessibles consultées lors des différentes études.

6.2. PRODUCTION

On se reportera au graphique de production de la mine des Bormettes (§ 5.2.).

La mine du Verger venait compléter par une production minime celle de la mine des Bormettes. On estime la production de minerai annuelle de l'ordre de 16 000 t entre 1900 et 1928, avec des teneurs de 10 % Zn et 2 % Pb.

6.3. INSTALLATIONS DE SURFACE

Le site minier du Verger comprenait :

- des ateliers et bâtiments aujourd'hui détruits. Il n'en reste que les fondations en béton ;
- il semble qu'il ait existé une installation de sheidage et de broyage du minerai. Plus rien ne subsiste à ce jour de ces installations, sinon des socles de broyeur ;
- un train reliant le site à celui des Bormettes pour les hommes et le minerai. Seuls les terrassements et quelques ouvrages d'art soulignent encore son tracé.

6.4. PLANS MINIERS

Les seuls plans miniers disponibles et donnés en planche hors texte sont :

- le plan des galeries daté de 1929 à l'échelle du 1/500 dans le dossier DADT [12] (pl. 5) ;
- un plan filonien daté de 1927 à l'échelle du 1/500 dans le DADT de Métaleurop [12] (pl. 6).

On y distingue :

- cinq ouvrages qui débouchent au jour, soit trois galeries et deux puits courts ;
- un plan incliné souterrain qui ne débouche pas au jour ;
- des galeries sur quatorze niveaux aux cotes NGF +164, +140, +113, +83, +53, +22, +7, -38, -64, -97, -126,-157, -183, -217 m.

Les galeries ont été redessinées sur la carte informative à partir du plan historique redressé et géoréférencé.

6.5. OUVRAGES ET VERSES

6.5.1. Ouvrages

Un ensemble de cinq ouvrages débouchant au jour (ODJ) peut être retenu sur les plans disponibles. Tous ont été l'objet de travaux de mise en sécurité en 2003.

Ils sont décrits dans les tableaux ci-après.

Référence	X - LII	Y- LII	X - WGS84 Z 32 T	Y - WGS84 Z 32 T	Alt m
G1	914230	1805529	272140	4784942	+164
G2	914293	1805556	272205	4784964	+140
G3	914414	1805680	272335	4785077	+113
P1	914381	1805566	272293	4784966	+140
P2	914341	1805566	272253	4784970	+140

Tableau 7 - Coordonnées des ODJ en Lambert II et en WGS84/31T.

Photo 8 - Le Verger. Puits P1 reliant la galerie 3.

Photo 9 - Le Verger. Galerie 3.

Photo 10 - Verses du Verger depuis la galerie G1.

Référence	G1	G2	G3	P2	P1
Nom de l'ouvrage	Galerie I	Galerie II	Galerie III	Accés dépilage niveaux II et III	Puits sur Galerie III
Sources (GPS, calage, autres…)	Orthophoto/GPS	Plan minier	Orthophoto/GPS	Plan minier	Orthophoto/GPS
Visible (oui/non)	oui	non	oui	non ?	oui
Incertitude de position	< 5 m	10 m	10 m	< 10 m	< 5 m
Type d'ouvrage	Galerie	Galerie	Galerie	Puits	Puits
Date de fonçage	XIXe	XIXe	XIXe	XIXe	XIXe
Diamètre	2,5 m	? (<2)	? (<2)	3 m	3 m
Cote début	+164	+140	+115	+140	+140
Cote fond	horizontale	horizontale	horizontale	+113	+113
Longueur	100 m	200 m	600 m	27 m	27 m
Émergence (oui/non)	non	non	oui	non	non
Périmètre accessible	oui	oui	oui	oui	oui
Ouvrage pénétrable	non	non	non	non	non
Observations	Remblayée	Remblayée	Béton + barreaux	Remblayée	Dalle béton + barreaux

Tableau 8 - Tableau descriptif des ODJ.

6.5.2. Verses

Il existe sur le site trois principaux niveaux de verses :

- une première verse au niveau de l'arrivée du train et des bâtiments (cote +113 m NGF). Elle est assez importante, sur une surface de 3 500 m² et une épaisseur de 5 à 10 m. Elle est constituée de stérile et de minerais de granulométrie < 10 cm, mais aussi de résidus de grillage dont la provenance est problématique. On trouve en effet dans ces verses des scories, des machefers et des blocs constitués d'un mélange de charbon de bois et d'éléments de minerai mal brulés qui laisserait supposer qu'il y a eu des essais de grillage du minerai ;
- une verse à la cote +140 m NGF de stérile et de minerais de granulométrie < 10 cm sur environ 1 500 m² et 3 m d'épaisseur ;
- une verse à la cote +160 m NGF de stérile et de minerais de granulométrie < 10 cm sur environ 700 m² et 3 m d'épaisseur.

6.6. DÉFINITION DE LA TÊTE DU FILON

À partir du plan filonien, on peut penser que la trace du filon en surface passe par les trois principales entrées des galeries G1, G2 et G3 et se développe entre ces trois ouvrages. C'est la seule indication existante avec les affleurements de minerais exploités observables au-dessus de la galerie G1. C'est aussi le secteur où l'exploitation est la plus superficielle.

6.7. ÉPAISSEUR DU RECOUVREMENT

Le filon étant penté et la morphologie de la surface du sol étant complexe, nous avons été amenés à calculer point par point sur une grille approximative de 100 m en est-ouest par 250 m en nord-sud pour chacun des 14 niveaux du plan minier. Ce recouvrement est estimé par la différence entre l'altitude du point considéré et la cote NGF du niveau considéré à la verticale. La grille d'évaluation est donnée pour mémoire au tableau 9.

Les résultats de cette évaluation sont visualisés sur la planche 9 où ont été reportés :

- les valeurs de l'épaisseur du recouvrement en quelques points ;
- le dessin des enveloppes à l'intérieur desquelles le recouvrement est compris :
  - entre 0 et 25 m,
  - entre 25 et 50 m,
  - entre 50 et 100 m,
  - entre 100 et 150 m,
  - le reste étant estimé à plus de 150 m.

		Altitude en m NGF										
		150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
Niveau en m NGF	166	-16	-6	4	14	24	34	44	54	64	74	84
	140	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
	114	36	46	56	66	76	86	96	106	116	126	136
	83	67	77	87	97	107	117	127	137	147	157	167
	53	97	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197
	23	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	227
	-7	157	167	177	187	197	207	217	227	237	247	257
	-40	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290
	-68	218	228	238	248	258	268	278	288	298	308	318
	-98	248	258	268	278	288	298	308	318	328	338	348
	-126	276	286	296	306	316	326	336	346	356	366	376

Tableau 9 - Épaisseur du recouvrement par niveau.

6.8. DÉSORDRES

Aucun désordre n'est observable sur ce site minier, ni signalé dans la documentation.

6.9. DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Afin de tester l'existence d'un éventuel aléa pollution, il a été collecté des échantillons de sols, de minerais et d'eaux pour analyse géochimique. Ces prélèvements ont été réalisés selon les normes ISO (eaux filtrées 45 µ et sols tamisés < 2 mm) et les analyses effectuées dans les laboratoires du BRGM à Orléans.

6.9.1. Plan d'échantillonnage

Neuf échantillons ont été prélevés sur ce site :

Réf.	Type	« granulo »	X WGS84 Z32T	Y WGS84 Z32T	Observations
VER1	Eau		272400	4785227	Étang 100 m x 50 m
VER2	Eau		272331	4785079	Galerie III - suintement
VER3	SdR	<1 mm	272945	4785364	Sédiments aval bassin
VER4	Sol	<1 mm	272824	4785374	Jardin rive droite
VER5	Sol	<1 mm	272730	4785358	Jardin rive gauche
VER6	sol	<1 mm	272254	4785022	Chemin
VER7	Roche	Entre 1 mm et 10 cm	272223	4784974	Verse
VER8	Sol	<1 mm	272325	4785178	Sol noir plateforme
VER9	Sol	<1 mm	272325	4785222	Jardin maison

Tableau 10 - Description des points d'échantillonnage.

Ces points sont cartographiés sur la carte informative (pl. 10).

6.9.2. Résultats

Les bordereaux d'essais fournis par le laboratoire sont donnés en annexe 1. On en retiendra les éléments chimiques remarquables listés dans les tableaux ci-après.

a) Analyse d'eau

Avec un pH légèrement acide compris entre 6 et 6,5, les résultats marquants de ces analyses d'eau sont présentés ci-après (tabl. 11). On y décèle une contamination significative et représentative de la minéralisation en Zn-Cd-As-SO_4.

Réf.	Pb ppb	Zn ppb	Cd ppb	Sb ppb	Cu ppb	As ppb	Hg ppb	SO_4 ppm
VER 1	8	15 200	34	25	4	< 5	< 0,05	417
VER2	< 2	1 799	< 2	5	2	19	< 0,05	49

Tableau 11 - Analyse des échantillons d'eau.

b) Analyse de roche

L'analyse du solide, avec la présence à des teneurs remarquables en Zn-Pb-Sb-Cd-Hg, montre bien qu'il s'agit de résidus de minerai qui doivent être considérés comme des sources de pollution.

Réf.	Pb %	Zn %	Cd ppm	Sb ppm	Cu ppm	As ppm	Hg ppm
VER7	10,2	22,3	62	5 500	2 170	64	11

Tableau 12 - Analyse des échantillons de minerai.

c) Analyse de sédiments de ruisseau et de sol

Les analyses de sol réalisées sont révélatrices d'une faible contamination qui doit peu s'écarter du fond géochimique supposé assez élevé dans ce contexte minéralisé. Les teneurs en Pb-Zn-Cu-As-Cd-Hg de la plateforme peuvent représenter un danger pour la santé en cas d'ingestion ou d'inhalation de poussières.

Réf.	Type	Pb ppm	Zn ppm	Cd ppm	Sb ppm	Cu ppm	As ppm	Hg ppm
VER3	SdR	55	427	<2	17	33	52	0,11
Échantillons de sol								
VER4	sol	366	1 590	4	100	62	48	0,84
VER5	sol	21	150	<2	<10	25	39	0,04
VER6	sol	26	227	<2	<10	30	38	0,05
VER8	Résidus sableux	2 520	22 600	74	796	629	96	4,5
VER9	sol	38	186	<2	15	19	42	0,07

Tableau 13 - Analyse des échantillons de sol et de sédiments de ruisseau.

6.9.3. Cartographie des résultats

La régionalisation des teneurs en sols, Sdr et eaux, est visualisée en figure 8 et planche 10.

6.9.4. Conclusion de la caractérisation environnementale

Ce premier échantillonnage montre que le minerai est une source potentielle de pollution en Pb-Zn-Cd-Sb-Hg-As et SO_4.

La qualité de l'eau n'est pas bonne, voire impropre à la consommation. Par contre, une pollution n'apparaît avérée ni dans les sols ni dans les sédiments. Si les teneurs rencontrées peuvent apparaître faiblement élevées, elles appartiennent sans doute au fond géochimique naturel.

6.10. CARTE INFORMATIVE

6.10.1. Calage et digitalisation des plans miniers

Le plan des galeries minières a été calé et redressé, puis digitalisé et géoréférencé.

Le plan a été redressé à l'aide du module de géoréférencement du logiciel ArcGis en utilisant une loi polynomiale du premier ordre. Les ouvrages débouchant au jour (ODJ) sont mal répartis dans l'emprise des travaux. Les coordonnées des ODJ ont été mesurées au GPS et contrôlées sur l'orthophotoplan quand ils sont bien visibles.

Sur ce secteur, cinq ouvrages débouchant au jour ont été repérés sur le terrain avec différents niveaux de confiance :

- les entrées de galeries G1 et G3, ainsi que le puits P1, ont été repérés de façon certaine sur le terrain ;
- l'entrée de galerie G2 et le puits P2 ont également été localisés sur le terrain par des travaux de remblaiement, mais avec une moindre précision puisque plus rien n'est visible en surface.

Plusieurs redressements ont été réalisés de façon à trouver le meilleur compromis entre les points de référence et le plan minier. La version impliquant la plus faible déformation du plan et le meilleur positionnement des ouvrages a été retenue.

À la lecture sous MapInfo du plan redressé, le décalage maximum entre le positionnement sur le terrain et le report sur le plan est de 5 m. Par contre, l'absence de point de référence dans la partie SW du plan, là où les galeries sont les plus profondes, indique qu'il y a certainement plus de décalage dans cette zone ou l'incertitude pourrait atteindre environ 20 m.

En conclusion pour ce plan, la déformation générale apportée à l'image est relativement faible, on peut donc considérer que la précision de géoréférencement est inférieure à la dizaine de mètres dans la zone la plus sensible.

6.10.2. Précision des reports cartographiques

a) Précision IGN

L'exactitude planimétrique de la BD ORTHO mesure l'écart entre les coordonnées mesurées sur l'image et les coordonnées terrain. Sur la feuille IGN Hyères, cette exactitude attendue est < 2 m.

b) Mesures de terrain

Les mesures et contre-mesures faites au GPS sur le terrain montrent que le GPS situe le point dans un cercle de 10 m de diamètre.

c) Calage du plan

Une incertitude de l'ordre de 10 m peut être retenue lors du calage du plan de mine dans la zone centrale où les ODJ ont été observés. Aux extrémités est et ouest de la zone d'exploitation, l'incertitude est plus grande mais reste difficilement quantifiable car tout dépend de la précision des levers de travaux miniers souterrains. Elle pourrait atteindre environ 20 m à l'extrémité ouest du gisement.

6.10.3. Présentation de la carte informative

Les éléments présentés sont dessinés au 1/1 500 (pl. 8). Le support géographique est l'orthophotographie de l'IGN dont l'échelle originale est compatible avec une échelle de travail de l'ordre du 1/5 000.

Sur la planche 9 renseignant sur les travaux et leur contexte, sont reportés quatre niveaux d'information :

- la géographie et l'occupation des sols avec les orthophotographies ;
- les courbes de niveau topographique extraites de la carte IGN à 1/25 000 et digitalisées dans MapInfo ;
- les travaux miniers avec une couleur par niveau ;
- les ouvrages en distinguant observés/non observés.

7. Évaluation des aléas autres que « mouvements de terrain »

7.1. PHÉNOMÈNES NON RETENUS

7.1.1. Aléa inondation

Sur la mine des Bormettes, depuis son abandon, l'équilibre hydrogéologique est sûrement atteint et rien de particulier n'est à signaler dans cette morphologie collinéenne. Il n'existe aucun point d'émergence, le seul point d'eau visible correspond à une eau stagnante et croupie dont l'origine est incertaine. Sachant que la galerie de la mer, qui est un point de drainage évident, est sèche, on en conclut que les vides de la mine ne sont pas inondés, sauf la partie la plus profonde située en dessous du niveau de la mer.

Sur la mine du Verger, les travaux miniers sont profonds sous la colline. La galerie G3 sert d'émergence, marquée par un suintement et régule sans doute le niveau d'eau dans la mine. On peut supposer qu'elle marque le niveau hydrostatique et que l'ensemble des travaux miniers est noyé jusqu'à ce niveau (NGF +115 m). Il n'y a pas de risque de mise en pression de galerie, sauf peut-être sur les 25 mètres situés entre celle-ci et le puits P1 en cas de colmatage de celle-ci. Un phénomène d'inondation brutale pourrait alors exister.

Sur ces deux sites, l'intensité et la prédisposition de cet aléa ont des valeurs qui peuvent être raisonnablement considérées comme très faibles.

Compte tenu de ce qui a été observé, l'aléa inondation n'est pas retenu.

7.1.2. Aléa gaz de mine (Grisou-CO_2)

Il n'a jamais été fait allusion à une émanation de gaz de mine dans ces deux mines métalliques. **Aucun aléa lié au gaz de mine n'est retenu**.

7.2. PHÉNOMÈNES RETENUS

7.2.1. Aléa émanation de radon

Une synthèse et une cartographie en région PACA des données concernant les émanations du gaz radon ont été faites dans un rapport du BRGM en 2004 [14]. Cette étude, en s'appuyant sur les mesures faites par la DDASS et en intégrant différents facteurs géologiques et aggravants (faille, linéament, socle, séismes…), attribue à

chaque commune un niveau de susceptibilité des terrains à l'émanation du gaz radon sur une échelle définie dans le tableau 14.

Échelle des valeurs	Niveau de susceptibilité
0 à < 5	nul à faible
5 à < 6,4	moyen
6,4 à < 8,5	fort
> 8,5	très fort

Tableau 14 - Échelle de susceptibilté à l'émanation radon [14].

Comme indiqué dans le tableau 15, le niveau de susceptibilité des deux communes entourant la mine apparaît sur cette échelle comme « Fort à Très Fort ».

Commune	Valeur moyenne de la susceptibilité	Niveau de Susceptibilité
La Londe-les-Maures	7,5	Fort
Bormes-les-Mimosas	9	Très fort

Tableau 15 - Susceptibilité radon des communes voisines de la mine [14].

L'aléa radon est donc à retenir sur les deux sites miniers. Des investigations complémentaires sont à effectuer et ce d'autant plus que les travaux du Verger et des Bormettes ne sont pas totalement ennoyés (la galerie de la mer est sèche), les vides miniers permettant ainsi au radon de s'accumuler, d'atteindre un haut niveau de concentration avant de pénétrer le soubassement des habitations (caves mal ventilées…).

7.2.2. Aléa Pollution

Notons que sur les deux sites il existe une contamination par les éléments Pb-Zn-Cu-Sb-Cd-Hg-As démontrée par le premier échantillonnage réalisé. La cartographie semble montrer que la contamination reste faible et localisée sur le site même des exploitations sans déborder sur les versants et en se diluant progressivement, mais rapidement vers l'aval dans le réseau hydrographique comme semble le démontrer les analyses de sédiments.

a) Pollutions des eaux

- **Site des Bormettes**

L'examen des résultats d'analyse dans les eaux n'a pas permis de détecter de pollutions. Compte tenu de l'absence d'aquifère developpé, sinon peut-être en dessous de niveau 0 m NGF, un aquifère salé non accessible et de la faible pluviométrie, on peut raisonnablement penser que l'aléa pollution des eaux est nul.

- **Site du Verger**

La minéralisation est à l'origine de la contamination des eaux de surfaces et souterraines **en Zn-As-Cd-Sb-SO_4 qui atteignent les limites de potabilité**.

b) Pollutions des sols

- **Site des Bormettes**

L'analyse des métaux dans les sols nous a montré l'existence de **concentrations relativement fortes en Pb-Zn-Sb-Cd-Hg** dans la partie basse du site sans doute là où étaient situées les installations de traitement des minerais. Une pollution forte est à retenir sur la verse qui représente un risque immédiat marqué par les échecs de revégétalisation.

Sur le site de la fonderie, l'analyse effectuée n'a pas détecté de teneurs anomales. La prédisposition est nulle sauf si les zones goudronnées sont percées ou supprimées. En conséquence, il conviendrait d'y définir un aléa faible.

- **Site du Verger**

Les quelques analyses de sols réalisées à proximité des habitations, dans des zones de vie (jeux, plantation, potager), montrent que le minerai et les déchets miniers sont une source de pollution par de fortes **teneurs en Pb-Zn-Sb**. On notera que la pollution en sol est d'extension limitée et peu intense, exception faite de l'échantillon VER8 prélevé sur ce qui devait être l'ancien carreau de la mine. Ce dernier est constitué d'un sol très contaminé par un sable de minerai broyé en quantité relativement abondante. Ce secteur est utilisé aujourd'hui comme manège de loisir pour l'entraînement des chevaux (usage privé).

Par ailleurs, on notera que ces teneurs sont géographiquement limitées aux travaux miniers débouchant au jour, sans extension latérale et sans dissémination vers l'aval dans le réseau hydrographique avec des sédiments sans teneurs notables.

8. Évaluation des aléas « mouvements de terrain »

8.1. IDENTIFICATION DES PHÉNOMÈNES ATTENDUS

8.1.1. Le phénomène d'effondrement localisé

a) Description du phénomène

Le phénomène d'effondrement localisé est causé par l'instabilité locale d'une cavité souterraine. Cette instabilité se propage au travers des terrains situés au-dessus et crée de cette manière un cratère en surface. Les matériaux impliqués sont donc déplacés et destructurés de manière importante. La figure 7 schématise l'évolution de ce type de phénomène, en couche sédimentaire en plateure.

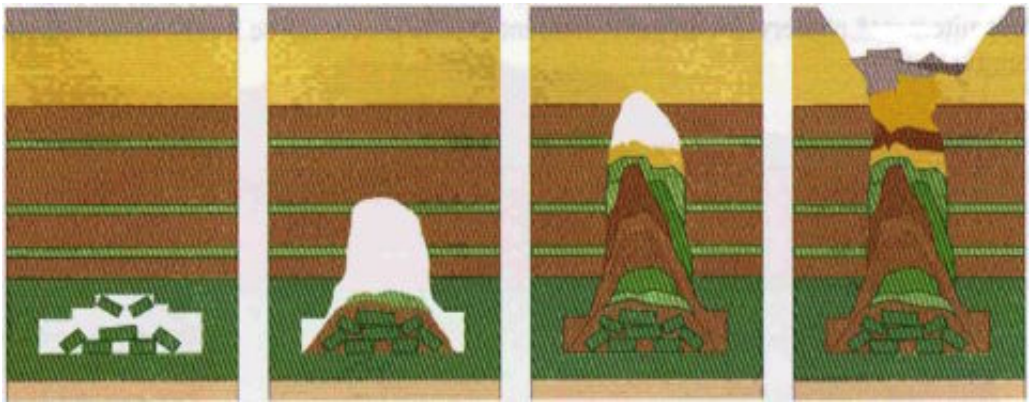


Figure 7 - Schéma de principe d'évolution d'un effondrement localisé (d'après Évaluation des Aléas liés au Cavités Souterraines – LCPC, 2002).

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

- la stabilité des cavités qui se créent au cours de la progression du phénomène ;
- la possibilité d'un auto-comblement de la cavité du fait de l'augmentation de volume des matériaux entre leur état « en place » et leur état « effondré ». Ce phénomène d'augmentation de volume est aussi appelé foisonnement. La figure 8 illustre le phénomène dit « d'auto-comblement » qui en découle et qui peut stabiliser l'effondrement, empêchant qu'il atteigne la surface.

En général, pour la majorité des massifs, l'altération et la fracturation augmentent lorsqu'on se rapproche de la surface. La stabilité d'une excavation de dimension équivalente est donc souvent moindre lorsqu'on se rapproche de la surface. Toutefois, la présence d'horizons géologiques compétents ou ayant des propriétés spécifiques peut stabiliser la propagation de l'effondrement.

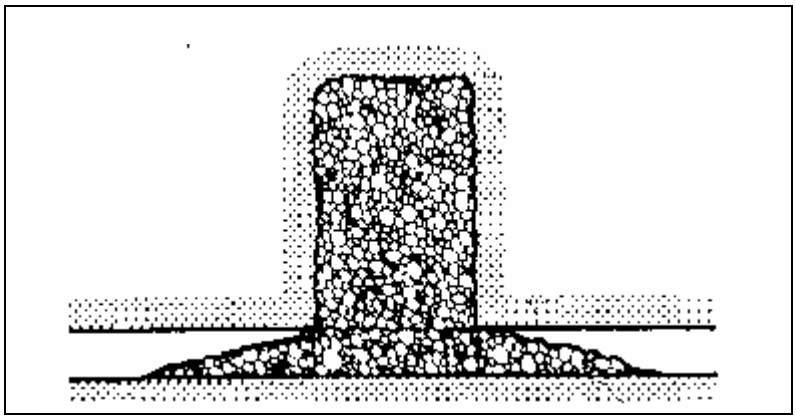


Figure 8 - Fontis « autocomblé » (d'aprés Bétournay, 2005).

Le foisonnement des matériaux géologiques est un phénomène connu. Il n'est cependant pas mesuré de manière systématique et il n'existe aucun standard reconnu pour sa détermination. Le phénomène d'auto-comblement est donc difficile à évaluer de manière rigoureuse, mais on admet le plus souvent que la probabilité d'apparition en surface diminue (à cavité de dimension égale) avec la profondeur de cavité. Pour les galeries isolées de dimensions habituelles (de 6 à 12 m^2 de section), les retours d'expérience permettent de définir que la limite d'apparition du fontis en surface se situe autour de 50 m de profondeur pour la cavité initiale. En revanche, des cavités de plus grandes dimensions, comme des chantiers non remblayés par exemple, peuvent créer des fontis même si elles sont situées à plus grande profondeur.

S'il existe des approches d'évaluation basées sur l'évaluation naturaliste des coefficients de foisonnement, elles doivent également s'appuyer sur l'observation d'un nombre suffisant d'instabilités survenues dans les mêmes conditions géomécaniques pour pouvoir être validées. L'absence d'effondrement documenté ne permet pas d'appliquer ces méthodes pour les travaux miniers des Bormettes et du Verger.

En général, l'intensité des effondrements localisés est définie comme la dimension (diamètre) du cône d'effondrement résultant en surface. Le guide PPRM propose des indications de classe d'intensité :

- intensité faible pour des surfaces concernées inférieures à 8 m^2 (diamètre inférieur à 3 m) ;
- intensité moyenne pour des surfaces concernées comprises entre 8 et 75 m^2 (diamètre compris entre 3 et 10 m) ;
- intensité forte pour des surfaces concernées supérieures à 75 m^2 (diamètre supérieur à 10 m).

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

b) Cavités à l'origine des effondrements localisés

D'une manière générale, les cavités à l'origine des effondrements localisés concernent l'ensemble des vides résiduels potentiellement présents dans le sous-sol d'un site minier.

Les effondrements localisés peuvent être ainsi classés en fonction des excavations à l'origine de leur apparition (galerie, intersection de galerie, chantiers, puits, pilier couronne, etc.), susceptibles de montrer des stabilités contrastées suivant leurs caractéristiques. Notons la particularité des gisements pentés pour lesquels la rupture du pilier couronne (ou stot de protection) peut également être à l'origine d'effondrement localisé en surface, comme le schématise la figure 9.

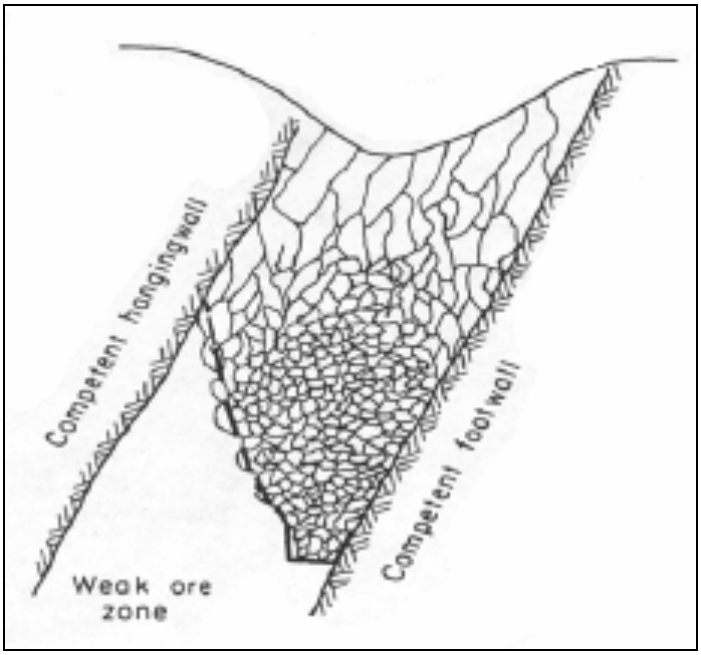


Figure 9 - Rupture d'un pilier de couronne dans le cas d'un gisement en dressant (d'après Bétournay, 2005).

Le tassement de matériaux de remblais mis en place dans des puits ou la rupture des matériaux superficiels et/ou d'un soutènement éventuel, peuvent provoquer des désordres similaires en surface à des effondrements de galeries ou de chantiers. On parle dans ce cas de débourrage de puits pour les instabilités associées à une évolution des remblais. Cependant, comme indiqué dans le guide PPRM, ce type de phénomène sera également évalué en tant qu'aléa « effondrement localisé ».

Ainsi, sur le site des Bormettes et du Verger, les vides résiduels susceptibles d'exister et d'être à l'origine d'effondrement localisé concernent :

- les chambres qui n'auraient pas été remblayées ou celles partiellement remblayées, notamment en tête de filon ;
- les vides créés par le débourrage de remblais, scénario particulièrement probable dans le cas de gisements pentés comme celui des Bormettes (80°N) ou du Verger (70°S) ;
- les galeries (galerie d'accès, travers-banc, galerie de base ou galerie de tête, galerie de roulage, etc.) ;
- les puits d'accès ou d'aérage, remblayés partiellement ou imparfaitement.

Le type de l'excavation influence la dimension et la profondeur des vides résiduels et donc les capacités d'« auto-comblement » d'une instabilité progressant vers la surface. Il est donc nécessaire de disposer d'indications précises sur les événements historiques, comme les lieux d'initialisation des instabilités ainsi que la dimension et la géométrie des vides résiduels concernés. La qualité des relevés topographiques des excavations, la connaissance précise et détaillée des techniques d'exploitation, remblayage, voire de soutènement et l'accès physique ou visuel aux anciens travaux, sont ensuite souvent nécessaires pour tirer parti de cette analyse. Ce degré d'information n'est cependant pas disponible sur le site des Bormettes et du Verger.

c) Aléa retenu sur les mines des Bormettes et du Verger

Les événements de type effondrement localisé qui ont eu lieu sont décrits au § 5.7. Repérés sur la carte informative, ces désordres concernent uniquement des têtes de puits de la mine des Bormettes, mais pourraient également être attendus à l'aplomb des travaux souterrains. L'aléa effondrement localisé est donc retenu sur les sites des Bormettes, à l'aplomb des ouvrages débouchant en surface ainsi qu'à l'aplomb des travaux souterrains. Bien qu'aucun désordre n'ait été repéré sur le site du Verger, l'aléa effondrement localisé sera retenu de la même manière.

8.1.2. L'effondrement généralisé

a) Description du phénomène

Un effondrement généralisé se produit lorsque les piliers de soutènement laissés dans une mine se rompent simultanément et produisent en surface un mouvement du sol brusque (fig. 10).

Ce type d'effondrement se produit dans des exploitations partielles (ayant laissé des vides résiduels conséquents) et dont l'extension latérale est suffisante (plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres d'extension), dans des gisements en plateure ou faiblement pentés.

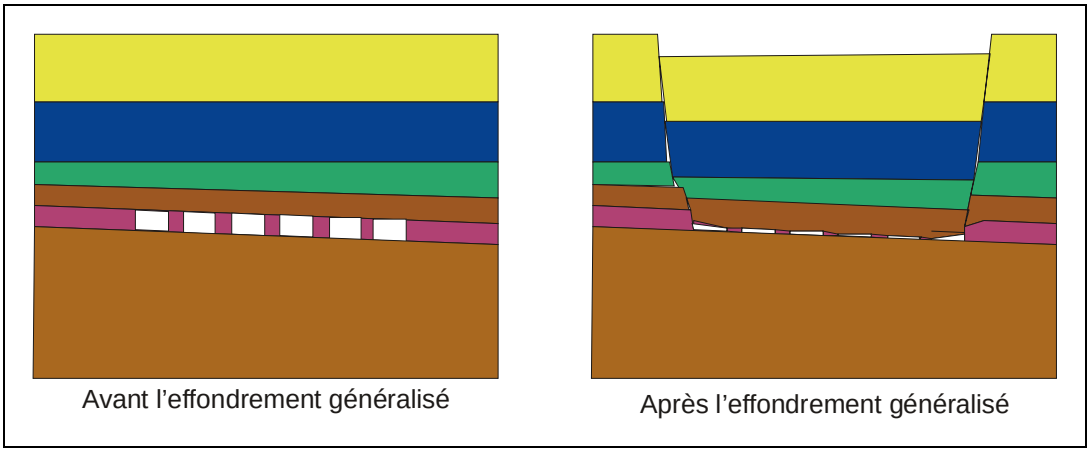


Figure 10 - Principe schématique du mécanisme de l'effondrement généralisé.

b) Aléa non retenu sur les mines des Bormettes et du Verger

Ce type d'instabilité est extrêmement peu probable, voire impossible, pour des gisements pentés. L'importance du pendage du filon exploité sur les deux sites (70° à 80°N) ne permet pas d'envisager une rupture instantanée des terrains de recouvrement. La configuration de ces travaux, qui plus est, majoritairement remblayés, n'est géométriquement pas compatible avec ce type de phénomène. Le risque d'effondrement généralisé est donc écarté sur les mines des Bormettes et du Verger.

8.1.3. Le phénomène d'affaissement progressif

a) Description du phénomène

Le phénomène d'affaissement progressif est à peu près équivalent au phénomène d'effondrement généralisé, mais avec une vitesse de propagation plus lente. Les terrains de recouvrement suivent une évolution progressive et « plastique » sous l'effet de la modification des contraintes induites par les excavations. Comme pour l'effondrement généralisé, ce mécanisme se produit dans des exploitations ayant laissé des vides résiduels conséquents et dont l'extension latérale est suffisante par rapport à la profondeur. Les cas les plus courants concernent les excavations créées par les tailles auto-foudroyées des mines de charbon. Les mouvements de la surface du sol peuvent se répartir sur des périodes variant de plusieurs jours à plusieurs dizaines d'années en fonction de la taille et de la profondeur des cavités ainsi que des qualités géomécaniques du massif.

b) Aléa non retenu sur les mines des Bormettes et du Verger

Dans le cas de chambres montantes remblayées, les vides résiduels et/ou la compressibilité des remblais mis en place peuvent être à l'origine d'une convergence des épontes qui se traduirait par la formation d'une voûte de décompression.

Cependant, ce type d'instabilité reste peu probable pour des gisements pentés comme celui-ci. De plus, les derniers travaux se sont arrêtés en 1907 pour la mine des Bormettes et en 1928 pour celle du Verger, ce qui impliquerait que ce phénomène se soit déjà produit il y a plusieurs dizaines d'années. Le risque d'affaissement progressif est donc écarté sur les mines des Bormettes et du Verger.

8.1.4. Le phénomène de tassement

a) Description du phénomène

Dans le cadre de l'après-mine, on parle de tassement lorsque les mouvements du sol ne résultent pas de l'extraction du minerai mais s'expliquent par la recompaction d'un massif meuble (amas de matériaux granulaires) ou affecté par les travaux souterrains (terrains foudroyés). Sous l'action de perturbations extérieures (applications de surcharge en surface, mouvements de nappes au sein des terrains concernés, sollicitations vibratoires…) ou sous l'effet de leur propre poids, les terrains qui présentent une forte porosité peuvent être amenés à se tasser.

Notons, par exemple, que les fontis qui peuvent « s'auto-combler », à proximité de la surface et plus particulièrement dans les terrains meubles les plus superficiels, sont susceptibles de provoquer un phénomène de ce type, notamment sous l'action de sollicitation extérieure.

Dans le cas général, ce phénomène est donc envisageable d'une part à l'aplomb des travaux souterrains (foudroyés, effondrés, fontis auto-comblés…) et d'autre part à l'aplomb de terrains de surface remaniés (dépôt minier, découverte remblayée…).

b) Aléa retenu sur les mines des Bormettes et du Verger

Soulignons d'abord qu'aucun cas de tassement avéré (fissures, dépressions topographiques...) n'a été détecté sur le site des Bormettes et du Verger.

Cependant, les deux principales verses (verse des Bormettes, verse du Verger) sont des terrains déconsolidés susceptibles de se tasser.

Si la configuration géométrique et géologique du gisement conduira préférentiellement à des phénomènes d'effondrements localisés, les remblais à faible profondeur ainsi que les terrains de recouvrement éventuellement déconsolidés par l'excavation, sont également susceptibles de se compacter sous l'action de perturbation extérieure.

Ce phénomène sera donc évalué à l'aplomb des dépôts miniers entreposés en surface ainsi qu'à l'aplomb des travaux miniers à faible profondeur.

8.1.5. Le phénomène d'instabilité de pente

a) Description du phénomène

Les instabilités de pente regroupent plusieurs phénomènes :

- les glissements de terrain qui concernent principalement les massifs de matériaux meubles ou faiblement cohérents. L'intensité dépend généralement des quantités de matériaux déplacés mais aussi de la profondeur de la surface de glissement. On parlera ainsi de glissement pelliculaire pour les événements ne concernant que la partie la plus superficielle du sol. À l'opposé, on parlera de glissements profonds, pour les événements entaillant profondément (quelquefois plusieurs dizaines de mètres) le versant ou le talus sur lequel ils se produisent. Dans la majorité des cas, la présence d'une nappe dans le talus est un phénomène particulièrement aggravant ;
- les coulées boueuses qui sont des glissements superficiels pour lesquels, du fait de leur quasi liquidité, les matériaux peuvent se déplacer sur de très grandes distances ;
- les effondrements, éboulements, écroulements et chutes de blocs associées qui concernent plus spécifiquement les falaises ou talus rocheux.

Les représentations schématiques ci-après (fig. 11) présentent certaines configurations d'instabilités de pente.

b) Aléa retenu sur les mines des Bormettes et du Verger

Les deux principaux secteurs de dépôts miniers (verse des Bormettes, verse du Verger) ont entraîné des modifications du terrain naturel d'ampleur à induire des instabilités de pentes. D'après les nuances introduites au § 8.1.5., les phénomènes attendus seraient de type « glissement de terrain » sur la verse du Verger (matériaux meubles ou faiblement cohérents déposés anthropiquement) et de type « écroulement rocheux » sur la verse des Bormettes. **Cet aléa sera donc évalué sur les deux sites**.

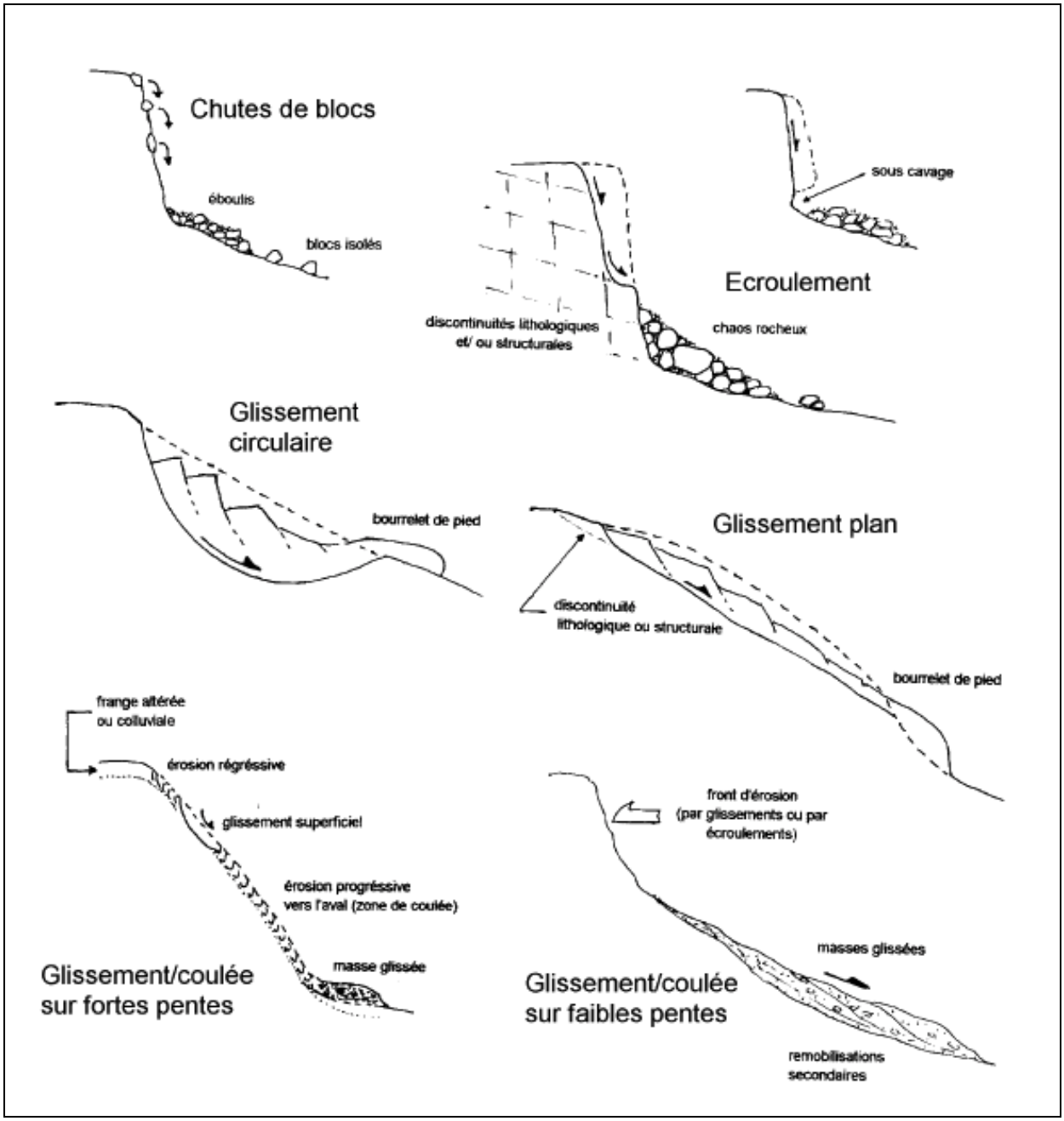


Figure 11 - Représentation schématique de plusieurs types d'instabilités de pentes.

8.2. ÉVALUATION DES ALÉAS « MOUVEMENTS DE TERRAIN »

8.2.1. Aléa effondrement localisé lié aux puits

Les quelques puits qui n'ont pu être repérés sur le terrain sont supposés remblayés.

a) Intensité de l'aléa

À l'aplomb des travaux miniers, les terrains de recouvrement sont constitués des terrains métamorphiques encaissants du massif des Maures. À l'exception des quartzites, ces terrains sont fracturés et peu résistants, ce qu'a confirmé l'observation des affleurements repérés sur site. L'épaisseur de terrain altéré atteint une épaisseur dont l'ordre de grandeur maximale est estimé ici à 5 m.

Nous ne disposons pas d'indication chiffrée précise sur les dimensions des deux effondrements ayant concerné les têtes de puits. Le niveau de l'intensité est estimé entre faible et moyen (moyen pour les puits d'exploitation) mais, rappelons qu'aucun événement ne nous permet de le caler précisément. La nature des terrains de recouvrement et la dimension raisonnable des ouvrages permettent simplement d'exclure le niveau fort. Notons qu'un niveau plus élevé (moyen à fort) pourrait théoriquement être attribué là ou l'épaisseur du filon est maximale.

b) Prédisposition de l'aléa lié au puits

Le type d'effondrement envisageable dépend principalement du mode de traitement de chaque ouvrage. Pour tous les puits, la rupture de la tête d'ouvrage est susceptible de s'opérer à long terme par altération ou vieillissement des revêtements et/ou des parois du terrain naturel, comme l'atteste la dislocation de la maçonnerie du puits Saint-Victor (cf. § 5.7.). Pour les puits remblayés, s'ajoute la possibilité d'un débourrage de leurs remblais, comme c'est arrivé au puits Sainte-Madeleine.

Les puits ont des sections limitées n'excédant pas 3 m de diamètre. Cependant, deux puits simplement remblayés (puits Saint-Victor et puits Sainte-Madeleine) se distinguent nettement par leur profondeur qui atteint 570 m, alors que celle des autres est limitée à 50 m. Cette caractéristique augmente très fortement la prédisposition à un débourrage des remblais. Le fait que les seuls désordres observés concernent ces ouvrages ne fait que confirmer cette forte prédisposition. Notons que nous ne connaissons pas le mode de remblayage utilisé suite aux récents désordres et ne pouvons donc garantir qu'il soit mieux adapté.

Le puits P1 du Verger est recouvert par une dalle de béton de 40 cm environ qui ne dépasse que faiblement la section du puits. L'ouvrage est creusé au rocher sans soutènement ; l'accentuation du sous-cavage de la dalle, qui s'amorce d'ores et déjà, n'est pas à exclure.

Les autres puits (P2 sur la mine du Verger ou les puits de recherche de la mine des Bormettes : la Poudrière, Caserne) sont très peu profonds, supposés remblayés et probablement borgnes. Le débourrage de leurs remblais est beaucoup moins probable.

La prédisposition peut être jugée comme :

- forte (ou très sensible) pour les deux puits d'exploitation de la mine des Bormettes dont la profondeur est très importante ;
- faible (ou peu sensible) pour les puits de reconnaissance de la mine des Bormettes, non retrouvés sur le terrain, souvent borgnes, peu profonds et supposés remblayés ;
- faible (ou peu sensible) pour les deux puits de la mine du Verger, notamment P1, pour lequel le dimensionnement de la dalle n'est pas suffisant pour exclure totalement sa rupture.

c) Évaluation de l'aléa effondrement localisé lié aux puits

À partir de ces informations, **il est attribué :**

- **un aléa fort à l'aplomb des deux puits d'exploitation de la mine des Bormettes (puits Saint-Victor et puits Sainte-Madeleine), remblayés et particulièrement profonds (> 560 m). Ce niveau d'aléa est issu du croisement (majorant) entre une prédisposition estimée à forte et une intensité moyenne ;**
- **un aléa faible à l'aplomb des autres puits de la mine des Bormettes, remblayés et peu profonds (< 50 m), dont la prédisposition à un débourrage de remblais est estimée à faible ;**
- **un aléa faible à l'aplomb des deux puits de la mine du Verger, notamment P1 dont le dimensionnement de la dalle n'est pas suffisant pour exclure totalement sa rupture.**

Compte tenu de la nature du phénomène redouté, le zonage de l'aléa est circulaire, centré sur l'axe du puits. Son rayon englobe :

- l'emprise de l'ouvrage ;
- un rayon supplémentaire d'incertitude de positionnement relative à chaque ouvrage et donc différente selon qu'il soit encore visible et donc repéré au GPS ou positionné grâce à un calage de plan ;
- un rayon supplémentaire correspondant à l'influence latérale du cône d'effondrement en surface. Dans la littérature, il est communément admis qu'un angle de 45° appliqué à la limite des terrains déconsolidés (facilement mobilisables) est suffisamment sécuritaire. Ici, l'épaisseur des terrains déconsolidés est estimée à 5 m. Cette valeur entraînera donc une extension horizontale supplémentaire en surface de 5 m de rayon.

Le rayon global total de ces zones d'aléa est donc au maximum d'une vingtaine de mètres pour les ouvrages les moins bien localisés, réduit à 10 m pour les ouvrages repérés sur le terrain (GPS/ortho). Notons que l'incertitude de localisation du puits des

Casernes a été portée à 20 m étant donné sa position excentrée par rapport aux points de calage (cf. § 6.10. Calage de plan).

8.2.2. Aléa effondrement localisé lié aux travaux souterrains (et galerie isolée)

La seule galerie isolée (hors des enveloppes de travaux) est la galerie de la mer sur la mine des Bormettes.

a) Intensité de l'aléa

À l'aplomb des travaux miniers, les terrains de recouvrement sont constitués des terrains métamorphiques encaissants du massif des Maures. À l'exception des quartzites, ces terrains sont fracturés et peu résistants, ce qu'a confirmé l'observation des affleurements repérés sur site. L'épaisseur de terrain altéré atteint une épaisseur dont l'ordre de grandeur maximale est estimé ici à 5 m.

Le niveau de l'intensité est estimé entre faible et moyen, mais rappelons qu'aucun événement ne nous permet de le caler précisément. La nature des terrains de recouvrement et la dimension raisonnable des vides résiduels permettent simplement d'exclure le niveau fort.

b) Prédisposition

La prédisposition d'un site à voir se développer un fontis à l'aplomb d'anciens travaux (ou de galeries isolées) dépend de la combinaison de plusieurs facteurs : la présence de vides, la rupture du toit et la remontée de l'instabilité jusqu'en surface.

Suite aux recherches effectuées dans le cadre de la phase informative, aucun événement de ce type n'a été recensé. Cependant, la forte urbanisation du site des Bormettes ne nous permet pas de garantir l'exhaustivité de l'investigation de terrain conduite dans le lotissement. Il en est de même pour le site du Verger dont le relief et le couvert végétal ne facilitent pas non plus le repérage.

c) Prédisposition à l'existence de vides résiduels dans les travaux

D'après les recherches effectuées dans le cadre de la phase informative, les travaux souterrains des mines des Bormettes et du Verger sont supposés remblayés. Néanmoins, la présence de vide résiduel reste toujours probable car :

- la présence de certaines galeries non remblayées est suspectée, principalement les galeries de niveau ou galeries d'accès, comme la galerie de la mer ;
- le pendage du filon (80 °N sur la mine des Bormettes et 70 °S sur la mine du Verger) favorise le débourrage des remblais accentué par l'étendue des travaux en profondeur ;

- les méthodes de remblayage employées, bien que totales, sont susceptibles d'avoir laissé des vides résiduels, notamment en tête de chambre.

Ainsi, la présence de vides résiduels reste probable dans les deux mines, bien qu'elles soient supposées remblayées. Cependant, l'absence de désordre avéré affectant la surface laisse penser que ces vides ne sont sans doute pas si nombreux.

Nous ne pouvons omettre également la présence d'anciennes exploitations (gallo-romaines et phocéennes). La localisation de certaines de ces galeries est d'ailleurs précisée dans la thèse de Mignon [13], seul plan de la mine des Bormettes disponible. Les écrits semblent confirmer l'envergure de ces travaux, notamment à proximité de l'affleurement filonien. Dès lors, en l'absence de ces plans anciens, nous ne pouvons exclure la présence de galeries à très faible profondeur, à proximité de l'affleurement, même si, là encore, aucun désordre ne permet de le vérifier. Il est cependant probable que ces travaux ne soient pas ou mal remblayés.

Nous retiendrons une prédisposition de présence de vide à l'aplomb des travaux souterrains récents cartographiés à partir de plan (Bormettes et Verger), ainsi qu'à l'aplomb de l'emplacement probable des anciens travaux gallo-romains sur la mine des Bormettes. De la même manière, la présence de ces travaux anciens est également envisagée sur la mine du Verger, mais avec un niveau de prédisposition moins élevé étant donné que leur présence n'a jamais été explicitement évoquée à cet endroit.

d) Prédisposition à la rupture du toit et à la remontée de l'instabilité

Les micaschistes encaissants ont des résistances variables avec l'altération et la profondeur. Le filon serait quartzeux et résistant alors que les épontes du filon et l'encaissant sont susceptibles d'être moins résistants et altérés. La propagation d'un effondrement se fera donc préférentiellement au travers du toit de la cavité puis des terrains de recouvrement plutôt que dans l'axe du filon.

Les épontes du filon sont soit quartzeuses soit directement constituées par les micaschistes encaissants. La résistance mécanique de ces épontes n'est pas assurée, puisqu'il est précisé que le boisage dans les tailles était systématique. L'absence d'événements en surface pourrait confirmer l'importance du coefficient de foisonnement des terrains de couverture et donc la possibilité d'un auto-comblement de la cavité avant que l'instabilité entraînée par la rupture du toit n'atteigne la surface. Quant à la galerie de la mer, elle a la particularité d'être maçonnée et en bon état d'après les observations faites à l'entrée de l'ouvrage. Nous ne connaissons cependant pas l'état de la maçonnerie en profondeur.

Comme nous l'avons expliqué dans le § 8.1., la taille des excavations et leur profondeur sont également des facteurs de prédisposition important :

- d'après la coupe transversale des travaux, la profondeur minimale qu'auraient atteint les chantiers d'exploitation est évaluée à une quinzaine de mètres sur la mine des Bormettes. Ce stot de protection est probablement du même ordre de grandeur sur la mine du Verger ;

- d'après les documents d'archives, les galeries sont de faible section, de l'ordre de 2 m, ce qu'a confirmé l'investigation de terrain. Les galeries creusées à l'époque gallo-romaine ou phocéenne ont probablement des sections inférieures ;
- la puissance du filon atteint 1,6 m en moyenne, variant plus précisément entre 0,8 et 6 m au maximum. Quant aux galeries et aux tranches exploitées, leur hauteur unitaire est de 2 m maximum. La dimension des cavités résiduelles ne semble pas excessive.

Pour de telles dimensions, les retours d'expérience montrent que le risque de remontée d'un fontis jusqu'en surface peut être écarté par le processus d'auto-comblement, au droit d'un vide dont la profondeur est supérieure à 50 m. Si l'absence d'événement avéré en surface inciterait à réduire cette profondeur maximale, la mauvaise tenue supposée des épontes justifie le maintien de cette valeur limite. Pour tenir compte de l'influence de l'auto-comblement avec la profondeur, il a été retenu un niveau de prédisposition plus élevée pour des vides situés entre 0 et 30 m de profondeur par rapport à ceux situés entre 30 et 50 m de profondeur. Notons également que des vides non ennoyés (par exemple, situés en dessus du niveau de la mer) sont moins confinés et plus prédisposés au développement d'instabilités que des secteurs systématiquement noyés.

Par croisement de ces différents facteurs, la prédisposition peut être jugée comme :

- moyenne (ou sensible) à l'aplomb du filon de la mine des Bormettes, entre son affleurement et 30 m de profondeur. Dans cette zone, la présence de vides résiduels peu profonds et non ennoyés est fortement probable, notamment liés aux anciennes exploitations gallo-romaines. La galerie de la mer est également concernée par cette catégorie ;
- moyenne (ou sensible) à l'aplomb de du filon de la mine du Verger, entre son affleurement et 30 m de profondeur où, à l'image de la mine des Bormettes, la présence d'exploitation ou de grattages anciens ne peut être exclue. Rehaussé par sécurité, ce niveau de prédisposition reste cependant inférieur à celui des Bormettes où ces travaux anciens sont avérés ;
- faible (ou peu sensible) à l'aplomb des travaux souterrains récents entre 30 et 50 m de profondeur, sur la mine des Bormettes et celle du Verger.

Le niveau maximal moyen est justifié par l'absence de désordre repéré en surface.

e) Évaluation de l'aléa

À partir de ces informations, **il est attribué :**

- **un aléa moyen à l'aplomb du filon de la mine des Bormettes, entre son affleurement et 30 m de profondeur. Dans cette zone, la présence de vides résiduels peu profonds et non ennoyés est fortement probable, notamment liés aux anciennes exploitations gallo-romaines ;**

- **un aléa moyen à l'aplomb du filon de la mine du Verger, entre son affleurement et 30 m de profondeur. À l'image de la mine des Bormettes, la présence d'exploitation ou de grattages anciens ne peut être exclue en tête de filon ;**
- **un aléa moyen à l'aplomb de la galerie de la mer, non remblayée et dont la tenue des parois maçonnées n'est pas connue ailleurs qu'en sortie ;**
- **un aléa faible à l'aplomb des travaux souterrains récents de la mine des Bormettes et de celle du Verger (et des galeries isolées) entre 30 et 50 m de profondeur.**

Un extrait de la carte d'aléa effondrement localisé du site des Bormettes est disponible en figure 12.

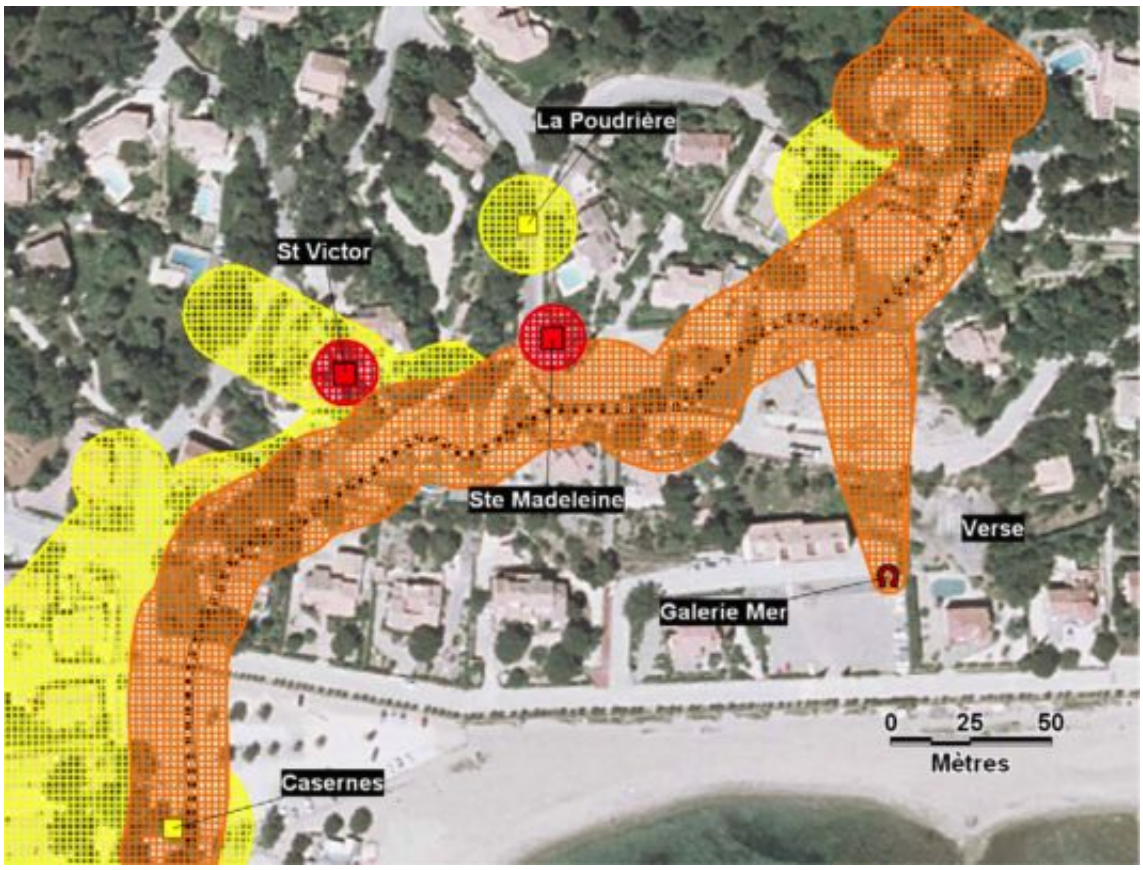


Figure 12 - Extrait de la carte d'aléa « effondrement localisé ».
(jaune : niveau faible ; orange : niveau moyen ; rouge : niveau fort)

f) Principes cartographiques de l'aléa effondrement localisé lié aux travaux souterrains

Compte tenu de la nature du phénomène redouté, le zonage de l'aléa correspond à l'enveloppe des travaux, complétée par l'incertitude de positionnement du secteur et par l'influence latérale du cône d'effondrement (dans la littérature, il est communément

admis qu'un angle de 45° appliqué à la limite des terrains déconsolidés est suffisamment sécuritaire). La figure 7 schématise le mode de construction de cette emprise.

L'enveloppe des travaux récents à faible profondeur a été extrapolée à partir des indications de l'épaisseur de recouvrement, issues de la phase informative (cf. § 5.6. et 6.7.). Comme l'épaisseur des terrains déconsolidés est limitée à 5 m sur les deux sites, la marge théorique globale ajoutée aux enveloppes de travaux à faible profondeur et au tracé des galeries est de 15 m. Elle a été portée à 25 m localement aux extrémités ouest du gisement pour tenir compte de l'incertitude du calage à cet endroit (cf.§ 6.10. et § 5.9.).

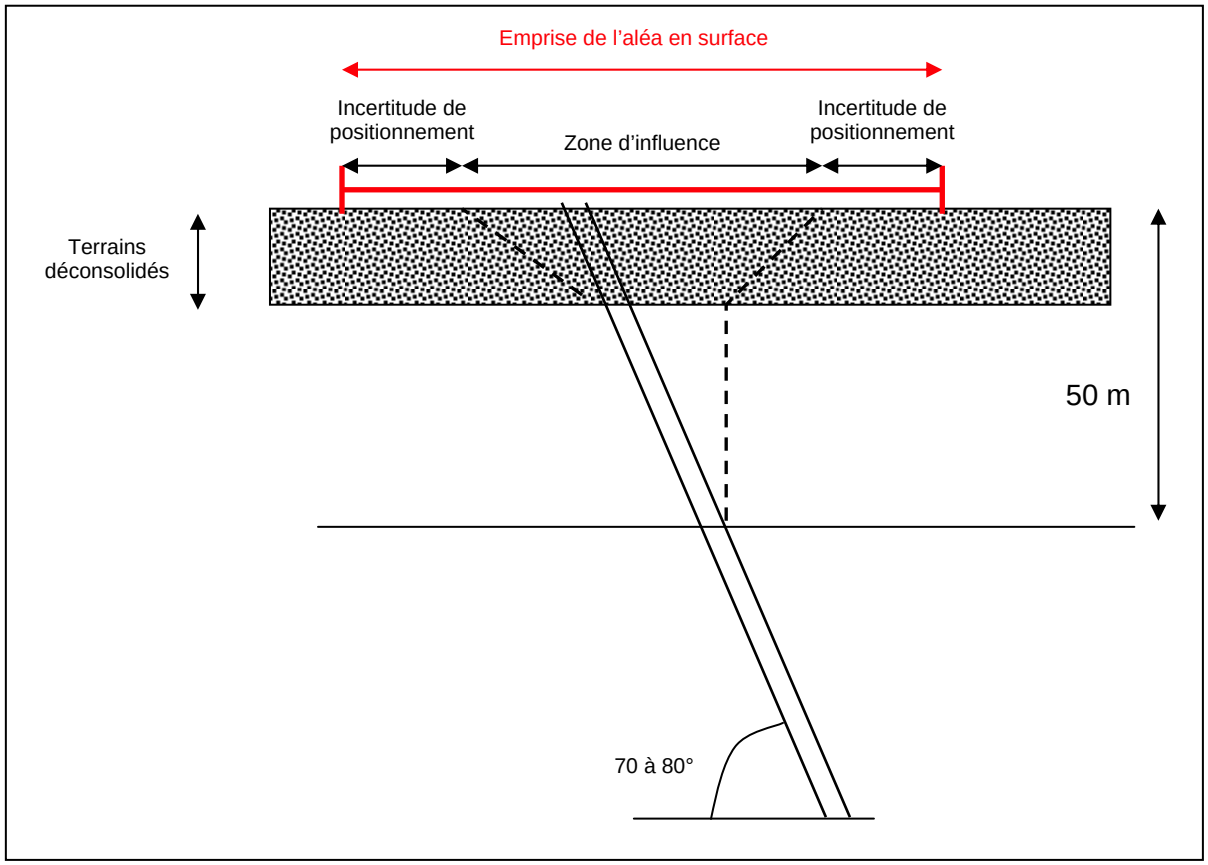


Figure 13 - Schéma de construction de l'aléa « effondrement localisé » à l'aplomb des travaux souterrains en gisement penté.

La délimitation de l'emprise des travaux anciens s'est basée sur la localisation de l'affleurement du filon en surface dont le tracé est décrit aux § 5.6. et 6.6.

Sur la mine des Bormettes, l'emprise concernée par l'aléa moyen (en orange sur la figure 12) tient compte de l'incertitude de positionnement de l'affleurement (estimé à 10 m) ainsi que de l'étendue possible des travaux en profondeur (jusqu'à 30 m de profondeur, avec un pendage de 80°). Ce secteur représente finalement une zone dans laquelle on ne peut exclure totalement la présence de vides résiduels peu

profonds et non ennoyés. Sur la mine du Verger, la trace de l'affleurement n'est pas connue précisément. On suppose que la tête de filon affleurant se confond avec le secteur exploité à faible profondeur, entre les galeries existantes.

8.2.3. Aléa tassement

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

a) Aléa tassement sur les travaux

Sur le site des Bormettes et du Verger, plusieurs configurations pourraient avoir créé une porosité artificielle susceptible de se compacter sous l'action de perturbations extérieures (applications de surcharge en surface, mouvements de nappes au sein des terrains concernés, sollicitations vibratoires…), notamment :

- les remblais mis en place dans les travaux, probablement peu compactés ;
- les terrains de recouvrement déconsolidés suite à l'excavation, étant donné la faible résistance des épontes (boisage systématique) ;
- les éventuelles remontées de voûte qui se seraient « auto-comblées » à proximité de la surface.

Si plusieurs configurations sont favorables à l'apparition de ce phénomène, l'absence d'événement recensé et la nature métamorphique des terrains encaissants conduit à ne retenir qu'une prédisposition faible, qui devient négligeable au-delà d'une certaine profondeur. La profondeur maximale, jusqu'à laquelle un vide résiduel est susceptible d'entraîner un tassement perceptible en surface, est souvent prise comme voisine de 50 m.

Un aléa tassement de niveau faible est donc attribué au droit des travaux situés à moins de 50 m de profondeur. Au-delà, cet aléa est considéré comme négligeable. Cependant, cet aléa n'a pas été cartographié puisque son zonage se superpose à celui de l'aléa effondrement localisé, alors que son effet en surface est largement moins prononcé. Bien qu'il ne mette pas en danger les populations, ce phénomène engendre des désordres sur le bâti de nature différente et reste donc important à évaluer distinctement.

b) Aléa tassement sur les dépots en surface

Sur la verse des Bormettes, un niveau de prédisposition faible semble raisonnable au vu de la hauteur limitée du dépôt (maximum de 2 m localement).

Quant à la verse du Verger, l'épaisseur des matériaux peut atteindre jusqu'à 10 m. Aucun renseignement précis n'est disponible sur la nature des matériaux, mais l'épaisseur justifie l'attribution d'un niveau de prédisposition moyen.

Par croisement avec un niveau d'intensité faible, **il est donc attribué un aléa tassement faible à l'aplomb des deux verses (Bormettes et Verger)**.

8.2.4. Aléa instabilité de pente

Les deux dépôts miniers, dont les caractéristiques (notamment les pentes de talus de l'ordre de 50°) sont susceptibles d'induire des instabilités de type « écroulement rocheux » et « glissement de terrain », sont la verse des Bormettes et celle du Verger.

Les matériaux entreposés sur les deux verses sont de nature et de granulométrie diverses.

Le volume de matériaux mobilisable sur la verse des Bormettes reste relativement limité par la hauteur de talus (< 10 m) et par l'épaisseur des matériaux déposés qui ne constitue qu'une pellicule superficielle (1 à 2 m d'épaisseur). Sur la verse du Verger, ce volume est nettement plus conséquent puisque l'épaisseur peut atteindre jusqu'à 10 m d'épaisseur (premier niveau de verse). Compte tenu du volume de matériaux mobilisable, le niveau d'intensité attendu relève d'un niveau faible pour la verse des Bormettes et moyen pour celle du Verger. Ce dernier niveau d'intensité correspond, d'après le guide méthodologique, à des glissements profonds.

Aucun événement significatif n'a été recensé, mais des grillages protègent les flancs de la verse des Bormettes attestant de l'occurrence d'événements de faible ampleur, type ravinements ou chute de pierre. Aucune des verses n'est végétalisée ce qui n'aura pas tendance à freiner le déclenchement d'un éventuel glissement. Bien que plusieurs banquettes viennent interrompre le talus, la pente et la hauteur des flancs de la verse du Verger sont suffisamment significatives pour qu'il lui soit attribué un niveau de prédisposition moyen. Ce niveau se justifie également par la présence de travaux miniers à faible profondeur (sous les deuxième et troisième niveaux de verse), dont les mouvements résiduels pourraient être des facteurs déclenchants.

Si la hauteur de la verse de Bormettes reste limitée (< 10 m), sa forte pente et les événements observés conduisent également à considérer un niveau moyen. Cependant, concernant la circulation des eaux de surface, il est fort probable qu'un système de drainage existe en amont de la verse des Bormettes, entièrement urbanisé, ce qui n'est pas le cas pour la verse du Verger, susceptible de recueillir l'eau d'un bassin versant significatif. Cette considération permettrait de réduire le niveau de l'aléa de la verse des Bormettes.

Il est donc attribué :

- **un aléa « glissement » de niveau moyen à la verse du Verger (tout niveau), pour laquelle l'épaisseur des matériaux entreposés pourrait être conséquente ;**

- **un aléa « écroulement rocheux » de niveau moyen à la verse des Bormettes, issu du croisement (majorant) entre une prédisposition moyenne et une intensité faible.**

Le zonage de l'aléa englobe les verses complétées par leur incertitude de position (évaluée à 5 m) et une zone d'épandage potentiel dont la largeur est estimée à 5 m en contrebas de la verse des Bormettes et à une vingtaine de mètres au pied de la verse du Verger.

8.3. RÉCAPITULATIFS DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN RETENUS

Dans l'état actuel des connaissances, quatre types d'aléa (effondrement localisé, tassement, glissement et écroulement rocheux) ont été retenus sur les mines des Bormettes et du Verger, à l'aplomb des ouvrages débouchant au jour, des travaux souterrains et des dépôts surfaciques.

ALÉA	Fort	Moyen	Faible
EFFONDREMENT LOCALISÉ	Puits d'exploitation de la mine des Bormettes (remblayés, particulièrement profonds (> 560 m), nombreuses recettes)	Filons des Bormettes et du Verger entre leurs affleurements et jusqu'à 30 m de profondeur.	Autres puits (remblayés ou dallés et peu profonds < 50 m) Travaux souterrains récents de 30 à 50 m de profondeur
TASSEMENT			Travaux des Bormettes et du Verger, situés à moins de 50 m de profondeur (aléa non cartographié) Verse du Verger + verse des Bormettes
GLISSEMENT		Verses du Verger (tout niveau) + 20 m d'épandage en pied	
ÉCROULEMENT ROCHEUX		Verse des Bormettes + 5 m d'épandage en pied	

Tableau 16 - Récapitulatif des aléas retenus sur le site des Bormettes.

8.4. PRÉSENTATION DE LA CARTE D'ALÉA

Les cartes localisant les zones d'aléa (pl. 6, 12 et 13) sont présentées, sur un fond orthophotoplan IGN, à l'échelle du 1/1 000 pour la mine des Bormettes et de 1/1 500 pour la mine du Verger. Éloignés de plusieurs dizaines de kilomètres l'un de l'autre, les deux sites sont représentés sur des cartes distinctes. Les éléments principaux des cartes informatives (pl. 4 et 9) ont été conservés pour permettre une meilleure compréhension de la démarche suivie pour évaluer les aléas. Un extrait de la carte d'aléa effondrement localisé est inséré dans le corps du rapport (fig. 12).

9. Enjeux et risques

9.1. ENJEUX OBSERVÉS SUR LES ZONES D'ALÉA

L'étude concerne deux sites dont les enjeux sont particulièrement opposés.

9.1.1. Site des Bormettes

Le secteur exploité est une colline en bord de mer, surplombant la plage de l'Argentière. Un lotissement de villas résidentielles avec des terrains de 1 000 à 3 000 m² a été créé sur cette colline avec accès privatif. La fonderie est un camp de vacances bâti, bétonné et goudronné en totalité ou presque.

9.1.2. Site du Verger

Le secteur exploité est une colline au milieu du massif des Maures avec un habitat très dispersé. Aucune habitation n'est située dans l'emprise même des travaux miniers et des verses. Le secteur d'accès difficile (photo 11) n'est fréquenté que par les chasseurs de sanglier.

Photo 11 - Le Verger : vallon de la mine et les trois niveaux de verses.

Figure 14 - Les Bormettes : carte des risques.
(en jaune : l'enveloppe des zones d'aléas ; en rouge : le bâti concerné par un aléa)

9.2. RISQUES MOUVEMENTS DE TERRAIN IDENTIFIÉS

En l'état actuel des connaissances, le risque principal est le secteur situé en aléa effondrement localisé moyen à fort sur le site des Bormettes, dans le lotissement de l'Argentière et qui touche plusieurs villas de la résidence. Il est important de noter que l'étendue de cette zone est essentiellement due à l'imprécision de localisation de la zone d'affleurement du filon. Rappelons cependant qu'aucun évènement ne nous permet de caler ce niveau d'aléa et qu'il faut surtout retenir le caractère relatif de l'expertise. La morphologie étroite du gisement et le pendage du filon ne permettent pas d'envisager d'autres aléas significatifs relatifs aux travaux d'exploitation en théorie remblayés. Notons simplement un aléa tassement de niveau faible sur l'emprise des travaux à faible profondeur.

Plusieurs autres zones à risques concernent d'anciens ouvrages qui n'ont pas été localisés et qu'il conviendrait de rechercher puisqu'ils se situeraient dans la zone résidentielle. Il s'agit du puits des Casernes et du puits de la Poudrière. Cependant, le peu de renseignements les concernant laissent suggérer de faibles dimensions. Notons que la proximité du puits Saint-Victor (dont le niveau d'aléa est estimé à fort) avec le pignon d'une maison (2 m) reste problématique.

Parmi ces risques, on retiendra en priorité les bâtiments les plus proches des puits profonds et de la tête du filon.

Les flancs rocheux de la verse des Bormettes induisent des risques d'écroulement susceptibles d'impacter les deux maisons en contrebas.

Sur le site du Verger, il n'existe aucun enjeu ayant une vulnérabilité aux mouvements de terrain. En conséquence, aucun risque ne peut être défini.

9.3. AUTRES RISQUES IDENTIFIÉS

Notons qu'aujourd'hui, aucun ouvrage n'est pénétrable ne laissant subsister aucun danger immédiat. En effet, l'intégralité a été obturée que ce soit par dalle de béton (P1), porte à barreau (galerie de la mer), paroi de béton (G3) ou foudroyage de l'entrée (G2 et G1).

Sur le site des Bormettes, la verse et son minerai représentent un risque immédiat qui nécessite une mise en sécurité immédiate (clôture) et sans doute un recouvrement par une argile carbonatée avant revégétalisation.

Sur le site du Verger, trois risques peuvent être identifiés en liaison avec la pollution des sols et des eaux, compte tenu de la présence d'une habitation occupée à l'année par une famille au niveau de la mine, légèrement en bordure immédiate du site et en rive droite du ruisseau qui draine la mine :

- l'utilisation d'eau souterraine prélevée par sondage par la résidence voisine pour le remplissage d'une piscine et l'arrosage d'un potager ;

- la présence d'un manège pour l'entraînement des chevaux construit sur le carreau de mine et sans doute l'inhalation de poussière ;
- l'utilisation du matériau des verses pour l'empierrement des chemins.

10. Conclusion

10.1. SITE DES BORMETTES

Le site correspond à une zone pavillonnaire comprenant des habitations principales et des résidences secondaires avec jardin et piscine dans un contexte collinéen de pinède.

Les investigations réalisées dans le cadre de cette étude démontrent l'existence de plusieurs aléas dont les plus significatifs sont :

- un aléa « effondrement localisé » moyen à l'aplomb des travaux souterrains anciens de la mine des Bormettes, entre l'affleurement et 30 m de profondeur ainsi qu'à l'aplomb de la galerie de la Mer ;
- un aléa « effondrement localisé » faible à l'aplomb des travaux souterrains récents de la mine des Bormettes jusqu'à 50 m de profondeur ;
- un aléa « tassement » faible à l'aplomb des travaux souterrains jusqu'à 50 m de profondeur ;
- un aléa « effondrement localisé » fort à l'aplomb des deux puits d'exploitation de la mine des Bormettes (puits Saint-Victor et puits Sainte-Madeleine), remblayés et particulièrement profonds (> 560 m). La prédisposition à un débourrage de remblais est estimée à forte ;
- un aléa « écroulement rocheux » de niveau moyen lié à la verse, mettant en péril deux habitations situées en contre-bas ;
- l'existence d'une pollution dans les sols en Pb-Zn-Sb-Hg qui s'exprime plus particulièrement dans les habitations de la partie basse de la colline et sur une verse de déchets miniers où les divers essais de revégétalisation ont été un échec ;
- l'existence d'une prédisposition élevée à l'aléa radon dans cette exploitation non ennoyée dans sa partie située au-dessus du niveau de la mer.

Le risque actuel principal est le secteur situé en aléa effondrement localisé moyen à fort, ainsi que l'aléa écroulement sur le site des Bormettes, dans le lotissement de l'Argentière et qui touchent plusieurs villas de la résidence.

10.2. SITE DU VERGER

Le site est situé dans une zone très sauvage et difficile d'accès avec une seule habitation occupée à l'année en bordure du site.

Les travaux réalisés dans cette étude ont démontré l'existence de plusieurs aléas dont les plus significatifs sont :

- un aléa « effondrement localisé » moyen à l'aplomb des travaux souterrains anciens de la mine du Verger, entre l'affleurement et 30 m de profondeur ;
- un aléa « effondrement localisé » faible à l'aplomb des travaux souterrains récents jusqu'à 50 m de profondeur ;
- un aléa « tassement » faible à l'aplomb des travaux souterrains jusqu'à 50 m de profondeur ;
- un aléa « glissement » de niveau moyen à la verse du Verger, pour laquelle l'épaisseur des matériaux entreposés pourrait être conséquente ;
- une pollution des eaux de surfaces en Zn-Cd-As-SO_4 **qui atteignent les limites de potabilité**. Un risque est associé à cette pollution avec l'utilisation des eaux souterraine pour usage domestique (piscine et potager). Un contrôle de la qualité de l'eau du forage utilisé est à réaliser ainsi qu'une restriction d'usage pour l'utilisation du bassin de retention des eaux dans le vallon sous l'habitation considérée.
- l'existence d'une pollution peu contrastée dans les sols en Pb-Zn-Cu-As-Cd-Hg, qui s'exprime plus particulièrement sur le site même de l'exploitation dans la vallon de la mine, mais qui ne se retrouve pas sur les versants. En aval, elle semble se diluer rapidement dans les sédiments. Un risque est associé à cette pollution sol et verses sur le secteur du carreau de la mine où a été installé un manège pour l'entraînement des chevaux. Il conviendrait d'interdire l'utilisation des déchets de la verse pour reblayer les chemins et d'interdire l'utisation du manège en l'état actuel.

Enfin comme pour les Bormettes, le site étant situé dans un contexte à forte probalité d'émanation de radon, on y a retenu l'existence d'un aléa radon fort. La mine n'étant pas ennoyée, les cavités minières ou au moins les vides résiduels peuvent jouer le rôle de drains privilégiés et il conviendrait sans doute de faire quelques investigations complémentaires dans les habitats situés au droit des travaux miniers, en commençant par inventorier ceux qui ont une cave ou un sous-sol enterré.

Aucun enjeu n'est concerné par les aléas mouvements de terrain. Par contre, l'utilisation du site pour le pompage d'eau et les loisirs est à examiner plus en détail.

11. Bibliographie

[6] Élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers : guide méthodologique – Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa. Rapport BRGM-INERIS inédit, sous presse.

[7] Base de données des sites miniers français GEODERIS.

[8] Rapport BRGM/RP-54173-FR phase 1 de la convention « Scanning des sites miniers », région PACA.

[9] Rapport BRGM/RP-54425-FR – Évaluation préliminaire de l'aléa MVT de la mine des Bormettes – décembre 2005.

[10] Carte géologique de la France au 1/50 000 (BRGM).

[11] La mine des Bormettes par Gilbert Mari (1984) – Riviéra scientifique du 15 décembre 1984.

[12] Mica Env. Dossier d'arrêt définitif des travaux. Concessions de La Londe et des Bormettes – Métaleurop, décembre 2002 (archives DRIRE).

[13] Thèse de R. Mignon : étude géologique et métallogénique de la partie occidentale du massif des Maures (1961) – Univ. Paris, Thèse 3e cycle.

[14] Rapport BRGM/RP-53240-FR (novembre 2004) – Identification des zones à forte potentialité d'émanation en radon dans la région PACA.

[15] Synthèse géologique du Sud-Est de la France. Mémoire du BRGM n° 125 (1984).

[16] Les venues métallifères de l'Espagne de S. CZYSZKOWSKI, ingénieur civil des mines (manuel édité par l'auteur).

[17] Mine des Bormettes – Société des mines des Bormettes. Notice pour l'exposition universelle (1900). Imprimerie Marseillaise.

[18] Rapport BRGM 68 SGL 074 GIT – Les filons minéralisés en Pb-Zn-Cu-Sb du massif des Maures – J. Bouladon *et al.*

[19] Mica Env. Demande de renonciation aux concessions de La Londe et des Bormettes – Métaleurop, juillet 2006 (archives privées).

[20] Prix Renaudot 1939 : Les Javanais de Jean Malaquais (éd. Phébus).

Annexe 1

Rapports d’essai du laboratoire

Géosciences pour une Terre durable
brgm

LABORATOIRE ACCRÉDITÉ SOUS LE N° 1-0251
cofrac
ESSAIS

RAPPORT D'ESSAIS 07-6-033-A

Provenance : BORMETTES	**Demandeur :** ARTIGNAN Dominique
Nature échantillon : EAU SOUTERRAINE **Nombre:** 3	**Adresse:** REM/RESE 3, av Claude Guillemin B.P. 36009 45060 ORLEANS CEDEX 02 France
Echantillons réceptionnés le : 13/07/2007	
Analyses commencées le : 17/07/07	
Référence commande : PSP07REM15|SUD14	

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Analyse chimique des eaux et micropolluants métalliques	T.CONTE
Réception et préparation des échantillons	V.RUFFIER

Résultats validés par le(s) responsable(s) de laboratoire

Visa: F.AUGUSTIN Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 27-AOU-2007

Nombre de pages: 4

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par le symbole *. Laboratoire agréé par le Ministère de l'écologie et du developpement durable au titre de l'année 2007 (Analyse d'eaux ou des sédiments - agrément 1-2-3-4-9-10).

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100012791 Rapport d'essais : 07-6-033-A

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le laboratoire : Analyse chimique des eaux et micropolluants métalliques

Le mode opératoire est utilisé pour doser :	MO108			Analyse d'éléments traces par ICP/MS.
*As (Arsenic)			*Cd (Cadmium)	
*Cu (Cuivre)			*Ni (Nickel)	
*Pb (Plomb)			*Sb (Antimoine)	
*Zn (Zinc)				
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	NF EN ISO 10304			Méthode par chromatographie ionique(DIONEX)selon NF EN ISO 10304-1 (Juin 1995) pour les eaux faiblement contaminées et NF EN ISO 10304-2 pour les eaux usées (Sept 1996). Evaluation des aires des pics.
*Cl (Chlorures)			*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	
*SO4 (Sulfates)				
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	NF EN ISO 11885	MAR-98		Analyse par ICP - spectrométrie d'émission.
*Ca (Calcium)			*K (Potassium)	
*Mg (Magnésium)			*Na (Sodium)	
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	NF EN ISO 9963-1	FEV-96		Alcalinité TA/TAC par potentiométrie selon NF EN ISO 9963-1, CO3/HCO3 calculés à partir des valeurs de l'alcalinité (hypothèse alcalinité uniquement due à CO3, HCO3)
CO3 (Carbonates)			HCO3 (Bicarbonates)	
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	NF EN 13506	JAN-02		Dosage du mercure total par spectrométrie de fluorescence atomique.
*Hg (Mercure)				

Commentaire du laboratoire :

le : 27-AOU-2007 Page 2

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100012791 Rapport d'essais : 07-6-033-A

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Commentaire général :

Les échantillons reçus non conditionnés selon les recommandations en vigueur (normes d'analyses ou norme NF EN ISO 5667-3) font l'objet d'un commentaire du laboratoire. Le mode et la durée de conservation avant réception au laboratoire sont de la responsabilité de l'organisme préleveur.
Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.
Pour les solides : résultats exprimés sur matière sèche.
RESULTATS : les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons
Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.
UNITES : elles peuvent être différentes selon les éléments
g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)
% (pourcentage massique)
mg/kg (1mg/kg=0.0001%), µg/kg (1µg/kg=0.001mg/kg)
µg=microgramme, ng=nanogramme

le : 27-AOU-2007 Page 3

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012791 Rapport d'essais : 07-6-033-A

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200085422 1 BOR.6-07/07/07	200085423 2 VER.1-07/07/07	200085424 3 VER.2-07/07/07
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5		79.5	86.5	105.9
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5		9.3	69.8	133.8
*Na (Sodium)	mg/l	0.5		30.9	70.9	239.3
*K (Potassium)	mg/l	0.5		13.3	7.2	27.6
CO3 (Carbonates)	mg/l	5		< 5	< 5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5		373	260	1579
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5		46.2	25.9	39.4
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5		< 0.5	< 0.5	< 0.5
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5		18.0	417.3	49.1
*As (Arsenic)	µg/l	5		< 5	< 5	19
*Cd (Cadmium)	µg/l	2		< 2	34	< 2
*Cu (Cuivre)	µg/l	2		6	4	2
*Ni (Nickel)	µg/l	5		< 5	35	16
*Pb (Plomb)	µg/l	2		8	8	< 2
*Sb (Antimoine)	µg/l	5		< 5	25	5
*Zn (Zinc)	µg/l	5		26	15200	1799
*Hg (Mercure)	µg/l	0.05		< 0.05	< 0.05	< 0.05

** LQ : Limite de quantification

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

le : 27-AOU-2007 Page 4

Géosciences pour une Terre durable

brgm

RAPPORT D'ESSAIS 07-6-033-B

Provenance : BORMETTES	**Demandeur :** ARTIGNAN Dominique
Nature échantillon : SOL **Nombre:** 13	**Adresse:** REM/RESE 3, av Claude Guillemin B.P. 36009 45060 ORLEANS CEDEX 02 France
Echantillons réceptionnés le : 13/07/2007	
Analyses commencées le : 06/08/07	
Référence commande : PSP07REM15|SUD14	

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse inorganique des solides	D.MARTINEAU
Préparations et matériaux	H.HAAS

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: F.AUGUSTIN Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 12-SEP-2007

Nombre de pages: 12

>>> ATTENTION AUX COMMENTAIRES DU LABORATOIRE

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100012809 Rapport d'essais : 07-6-033-B

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Préparations et matériaux

Le mode opératoire MO093	Préparation des sols, sédiments, boues et déchets pour détermination des polluants organiques et minéraux d'après les normes NF ISO 11464, NFX 31-147, XP 33-012
est utilisé pour doser :	
ENVMIN(Prep ana mine)	

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

le : 12-SEP-2007 Page 2

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100012609 Rapport d'essais : 07-G-033-B

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des solides

Le mode opératoire	MO043	Analyse du mercure total sur sols sédiments et boues par AMA 254. Pyrolyse de l'échantillon sous courant d'oxygène. Amalgamation puis analyse par absorption atomique
est utilisé pour doser : Hg (Mercure)		
Le mode opératoire	MO095	Préparation des sols, sédiments, boues et déchets pour détermination des polluants organiques et minéraux d'après les normes NF ISO 11464, NFX 31-147, XP 33-012
est utilisé pour doser : FR2MM (Fraction < 2mm)		

Commentaire du laboratoire :
Les résultats sont exprimés sur produit reçu séché par le client.
Analyse sur fraction granulométrique inférieure à 2 mm.

Commentaire général :

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.
Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.
RESULTATS : les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques, des solutions étalon ou des matériaux de référence. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons
UNITES : Elles peuvent être différentes selon les éléments :
g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l),
% (pourcentage massique),
mg/kg (1mg/kg=0.0001%=1 g/t), µg/kg=0.001mg/kg=mg/t),
µg=microgramme, t=tonne

le : 12-SEP-2007 Page 3

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100012809 Rapport d'essais : 07-6-033-B

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des solides

Le mode opératoire	MO077	Détermination de la perte de masse avant ICP
est utilisé pour doser :		
PP (Perte de masse à 450°C)		
Le mode opératoire	MO111	Analyse multiélémentaire par ICP/AES
est utilisé pour doser :		
Ag (Argent)		As (Arsenic)
B (Bore)		Ba (Baryum)
Be (Béryllium)		Bi (Bismuth)
Cd (Cadmium)		Ce (Cérium)
Co (Cobalt)		Cr (Chrome)
Cu (Cuivre)		La (Lanthane)
Li (Lithium)		Mo (Molybdène)
Nb (Niobium)		Ni (Nickel)
Pb (Plomb)		Sb (Antimoine)
Sn (Etain)		Sr (Strontium)
V (Vanadium)		W (Tungstène)
Y (Yttrium)		Zn (Zinc)
Zr (Zirconium)		

Commentaire du laboratoire :

Les résultats sont exprimés sur produit reçu séché par le client.
Analyse sur fraction granulométrique inférieure à 2 mm.

Commentaire général :

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.
RESULTATS : Toute valeur supérieure à la limite supérieure de quantification peut entraîner une interférence non contrôlée sur l'un quelconque des éléments.
Les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons.
Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.
REMARQUES : Les résultats des 8 éléments majeurs de l'analyse ICP ne peuvent en aucun cas être utilisés pour une interprétation pétrographique ni pour une évaluation de gisement.
UNITES :
% (pourcentage massique).
mg/kg (1mg/kg=0.0001%=1g/t.)

le : 12-SEP-2007 Page 4

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012809 Rapport d'essais : 07-6-033-B

Elément	Unité	LQ**	200085591 1 BOR1	200085592 2 BOR3	200085593 3 BOR4	200085594 4 BOR5
FR2MM (Fraction < 2mm)	%	0.1	29.9	45.2	43.9	44.4
Hg (Mercure)	mg/Kg	0.025	0.10	0.31	0.08	11.8
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05	4.75	12.3	5.78	8.52
Li (Lithium)	mg/Kg	10	39	62	48	56
Be (Béryllium)	mg/Kg	2	< 2	< 2	< 2	2
B (Bore)	mg/Kg	10	47	82	32	70
V (Vanadium)	mg/Kg	10	53	88	32	68
Cr (Chrome)	mg/Kg	10	48	85	35	69
Co (Cobalt)	mg/Kg	5	10	9	< 5	16
Ni (Nickel)	mg/Kg	10	16	23	< 10	18
Cu (Cuivre)	mg/Kg	5	12	22	7	233
Zn (Zinc)	mg/Kg	5	185	572	227	7700
As (Arsenic)	mg/Kg	20	26	22	< 20	47
Sr (Strontium)	mg/Kg	5	70	99	75	102
Y (Yttrium)	mg/Kg	20	26	27	< 20	25
Nb (Niobium)	mg/Kg	20	< 20	< 20	< 20	< 20
Mo (Molybdène)	mg/Kg	5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ag (Argent)	mg/Kg	0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	3.9
Cd (Cadmium)	mg/Kg	2	< 2	< 2	< 2	21
Sn (Etain)	mg/Kg	10	< 10	< 10	< 10	17

le : 12-SEP-2007 Page 5

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012809 Rapport d'essais : 07-6-033-B

Elément	Unité	LQ**	200085595 5 BOR7	200085596 6 BOR8	200085597 7 BOR9	200085598 8 VER3
FR2MM (Fraction < 2mm)	%	0.1	59.3	50.0	52.5	28.7
Hg (Mercure)	mg/Kg	0.025	0.40	10.9	0.68	0.11
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05	9.91	7.49	4.56	2.94
Li (Lithium)	mg/Kg	10	33	68	59	75
Be (Béryllium)	mg/Kg	2	< 2	2	< 2	2
B (Bore)	mg/Kg	10	58	79	54	123
V (Vanadium)	mg/Kg	10	48	64	56	100
Cr (Chrome)	mg/Kg	10	54	61	53	92
Co (Cobalt)	mg/Kg	5	8	16	7	17
Ni (Nickel)	mg/Kg	10	15	18	19	33
Cu (Cuivre)	mg/Kg	5	56	339	61	33
Zn (Zinc)	mg/Kg	5	596	6380	632	427
As (Arsenic)	mg/Kg	20	30	61	33	52
Sr (Strontium)	mg/Kg	5	93	107	93	131
Y (Yttrium)	mg/Kg	20	25	25	24	29
Nb (Niobium)	mg/Kg	20	< 20	< 20	< 20	< 20
Mo (Molybdène)	mg/Kg	5	< 5	< 5	< 5	< 5
Ag (Argent)	mg/Kg	0.2	< 0.2	1.8	< 0.2	< 0.2
Cd (Cadmium)	mg/Kg	2	< 2	15	< 2	< 2
Sn (Etain)	mg/Kg	10	< 10	< 10	< 10	< 10

le : 12-SEP-2007 Page 6

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012809 Rapport d'essais : 07-6-033-B

Elément	Unité	LQ**	200085599 9 VER4	200085600 10 VER5	200085601 11 VER6	200085602 12 VER8
FR2MM (Fraction < 2mm)	%	0.1	73.2	41.7	62.9	62.4
Hg (Mercure)	mg/Kg	0.025	0.84	0.04	0.05	4.5
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05	4.09	5.72	6.59	19.4
Li (Lithium)	mg/Kg	10	39	35	91	60
Be (Béryllium)	mg/Kg	2	< 2	2	2	3
B (Bore)	mg/Kg	10	79	75	126	93
V (Vanadium)	mg/Kg	10	62	62	108	79
Cr (Chrome)	mg/Kg	10	63	62	101	60
Co (Cobalt)	mg/Kg	5	11	11	10	28
Ni (Nickel)	mg/Kg	10	23	25	28	34
Cu (Cuivre)	mg/Kg	5	62	25	30	629
Zn (Zinc)	mg/Kg	5	1560	150	227	22600
As (Arsenic)	mg/Kg	20	48	39	38	125
Sr (Strontium)	mg/Kg	5	68	61	96	266
Y (Yttrium)	mg/Kg	20	24	29	29	22
Nb (Niobium)	mg/Kg	20	< 20	< 20	< 20	< 20
Mo (Molybdène)	mg/Kg	5	< 5	< 5	< 5	10
Ag (Argent)	mg/Kg	0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.3
Cd (Cadmium)	mg/Kg	2	4	< 2	< 2	74
Sn (Etain)	mg/Kg	10	< 10	< 10	< 10	10

le : 12-SEP-2007 Page 7

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012809 Rapport d'essais : 07-6-033-B

Elément	Unité	LQ**	200085603 13 VER6
FR2MM (Fraction < 2mm)	%	0.1	64.6
Hg (Mercure)	mg/Kg	0.025	0.07
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05	3.32
Li (Lithium)	mg/Kg	10	42
Be (Béryllium)	mg/Kg	2	< 2
B (Bore)	mg/Kg	10	67
V (Vanadium)	mg/Kg	10	66
Cr (Chrome)	mg/Kg	10	59
Co (Cobalt)	mg/Kg	5	10
Ni (Nickel)	mg/Kg	10	20
Cu (Cuivre)	mg/Kg	5	19
Zn (Zinc)	mg/Kg	5	186
As (Arsenic)	mg/Kg	20	42
Sr (Strontium)	mg/Kg	5	63
Y (Yttrium)	mg/Kg	20	24
Nb (Niobium)	mg/Kg	20	< 20
Mo (Molybdène)	mg/Kg	5	< 5
Ag (Argent)	mg/Kg	0.2	< 0.2
Cd (Cadmium)	mg/Kg	2	< 2
Sn (Etain)	mg/Kg	10	< 10

le : 12-SEP-2007 Page 8

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012809 Rapport d'essais : 07-6-033-B

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200085591 1 BOR1	200085592 2 BOR3	200085593 3 BOR4	200085594 4 BOR5
Sb (Antimoine)	mg/Kg	10		27	54	20	554
Ba (Baryum)	mg/Kg	10		430	617	338	879
La (Lanthane)	mg/Kg	20		35	39	27	38
Ce (Cérium)	mg/Kg	10		72	73	49	65
W (Tungstène)	mg/Kg	10		< 10	< 10	< 10	< 10
Pb (Plomb)	mg/Kg	10		86	332	79	3080
Bi (Bismuth)	mg/Kg	10		< 10	< 10	< 10	< 10
Zr (Zirconium)	mg/Kg	20		500	377	577	311

le : 12-SEP-2007 Page 9

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012809 Rapport d'essais : 07-6-033-B

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200085595 5 BOR7	200085596 6 BOR8	200085597 7 BOR9	200085598 8 VER3
Sb (Antimoine)	mg/Kg	10		24	1020	129	17
Ba (Baryum)	mg/Kg	10		344	756	393	605
La (Lanthane)	mg/Kg	20		34	38	32	50
Ce (Cérium)	mg/Kg	10		58	66	55	89
W (Tungstène)	mg/Kg	10		< 10	< 10	< 10	< 10
Pb (Plomb)	mg/Kg	10		165	3780	604	55
Bi (Bismuth)	mg/Kg	10		< 10	< 10	< 10	< 10
Zr (Zirconium)	mg/Kg	20		371	340	448	245

le : 12-SEP-2007 Page 10

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012809 Rapport d'essais : 07-6-033-B

Elément	Unité	LQ**	Ums Labo Client	200085599 9 VER4	200085600 10 VER5	200085601 11 VER6	200085602 12 VER8
Sb (Antimoine)	mg/Kg	10		100	< 10	< 10	796
Ba (Baryum)	mg/Kg	10		417	427	531	519
La (Lanthane)	mg/Kg	20		34	40	45	31
Ce (Cérium)	mg/Kg	10		59	71	77	46
W (Tungstène)	mg/Kg	10		< 10	< 10	< 10	< 10
Pb (Plomb)	mg/Kg	10		366	21	26	2520
Bi (Bismuth)	mg/Kg	10		< 10	< 10	< 10	< 10
Zr (Zirconium)	mg/Kg	20		347	424	328	150

le : 12-SEP-2007 Page 11

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012809 Rapport d'essais : 07-6-033-B

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200085603 13 VER9
Sb (Antimoine)	mg/Kg	10		15
Ba (Baryum)	mg/Kg	10		377
La (Lanthane)	mg/Kg	20		35
Ce (Cérium)	mg/Kg	10		61
W (Tungstène)	mg/Kg	10		< 10
Pb (Plomb)	mg/Kg	10		38
Bi (Bismuth)	mg/Kg	10		< 10
Zr (Zirconium)	mg/Kg	20		358

** LQ : Limite de quantification

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

le : 12-SEP-2007 Page 12

Géosciences pour une Terre durable

brgm

RAPPORT D'ESSAIS 07-6-033-D

Provenance : BORMETTES	**Demandeur :** ARTIGNAN Dominique
Nature échantillon : SOL **Nombre:** 2	**Adresse:** REM/RESE 3, av Claude Guillemin B.P. 36009 45060 ORLEANS CEDEX 02 France
Echantillons réceptionnés le : 13/07/2007	
Analyses commencées le : 06/08/07	
Référence commande : PSP07REM15|SUD14	

Secteur analytique	Ingénieur technique
Analyse inorganique des solides	D.MARTINEAU
Préparations et matériaux	H.HAAS

Résultats validés par le(s) ingénieur(s) technique(s)

Visa: F.AUGUSTIN Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 14-SEP-2007

Nombre de pages: 6

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

www.brgm.fr

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100012860 Rapport d'essais : 07-6-033-D

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Préparations et matériaux

Le mode opératoire **MO093**	Préparation des sols, sédiments, boues et déchets pour détermination des polluants organiques et minéraux d'après les normes NF ISO 11464, NFX 31-147, XP 33-012
est utilisé pour doser :	
FNVMIN(Prep ana mine)	

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

le : 14-SEP-2007 Page 2

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100012860 Rapport d'essais : 07-6-033-D

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des solides

Le mode opératoire est utilisé pour doser : Pb (Plomb)	MO007	Analyses Ag-Ba-Cu-Fe-Pb-Sr-Zn (absorption atomique); Cl (potentiométrie); Fe (volumétrie); S-So-SO4-Sr-Ba (gravimétrie).
Le mode opératoire est utilisé pour doser : Hg (Mercure)	MO043	Analyse du mercure total sur sols sédiments et boues par AMA 254. Pyrolyse de l'échantillon sous courant d'oxygène. Amalgamation puis analyse par absorption atomique

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.
Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.
RESULTATS : les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques, des solutions étalon ou des matériaux de référence. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons
UNITES : Elles peuvent être différentes selon les éléments :
g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l),
% (pourcentage massique),
mg/kg (1mg/kg=0.0001%=1 g/t), µg/kg=0.001mg/kg=mg/t),
µg=microgramme, t=tonne

le : 14-SEP-2007 Page 3

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100012860 Rapport d'essais : 07-6-033-D

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le secteur analytique : Analyse inorganique des solides

Le mode opératoire	MO077	Détermination de la perte de masse avant ICP
est utilisé pour doser :		
PP (Perte de masse à 450°C)		
Le mode opératoire	MO111	Analyse multiéléments par ICP/AES
est utilisé pour doser :		
Ag (Argent)		As (Arsenic)
B (Bore)		Ba (Baryum)
Be (Béryllium)		Bi (Bismuth)
Cd (Cadmium)		Ce (Cérium)
Co (Cobalt)		Cr (Chrome)
Cu (Cuivre)		La (Lanthane)
Li (Lithium)		Mo (Molybdène)
Nb (Niobium)		Ni (Nickel)
Pb (Plomb)		Sb (Antimoine)
Sn (Etain)		Sr (Strontium)
V (Vanadium)		W (Tungstène)
Y (Yttrium)		Zn (Zinc)
Zr (Zirconium)		

Commentaire du laboratoire :

Commentaire général :

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.
RESULTATS : Toute valeur supérieure à la limite supérieure de quantification peut entraîner une interférence non contrôlée sur l'un quelconque des éléments.
Les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons.
Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.
REMARQUES : Les résultats des 8 éléments majeurs de l'analyse ICP ne peuvent en aucun cas être utilisés pour une interprétation pétrographique ni pour une évaluation de gisement.
UNITES :
% (pourcentage massique).
mg/kg (1mg/kg=0.0001%=1g/t.)

le : 14-SEP-2007 Page 4

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012860 Rapport d'essais : 07-6-033-D

Elément	Unité	LQ**	200085980 1 BOR2	200085981 2 VER7
Hg (Mercure)	mg/Kg	0.025	6.2	11.0
Pb (Plomb)	%	0.05		10.2
PP (Perte de masse à 450°C)	%	0.05	1.53	< 0.05
Li (Lithium)	mg/Kg	10	36	52
Be (Béryllium)	mg/Kg	2	< 2	< 2
B (Bore)	mg/Kg	10	62	< 10
V (Vanadium)	mg/Kg	10	51	< 10
Cr (Chrome)	mg/Kg	10	52	16
Co (Cobalt)	mg/Kg	5	11	< 5
Ni (Nickel)	mg/Kg	10	17	< 10
Cu (Cuivre)	mg/Kg	5	845	2170
Zn (Zinc)	mg/Kg	5	18700	22300
As (Arsenic)	mg/Kg	20	51	84
Sr (Strontium)	mg/Kg	5	93	17
Y (Yttrium)	mg/Kg	20	< 20	< 20
Nb (Niobium)	mg/Kg	20	< 20	< 20
Mo (Molybdène)	mg/Kg	5	< 5	6
Ag (Argent)	mg/Kg	0.2	8.2	104
Cd (Cadmium)	mg/Kg	2	48	62
Sn (Etain)	mg/Kg	10	< 10	< 10

le : 14-SEP-2007 Page 5

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100012860 Rapport d'essais : 07-6-033-D

Elément	Unité	LQ**	Lims Labo Client	200085980 1 BOR2	200085981 2 VER7
Sb (Antimoine)	mg/Kg	10		1490	5500
Ba (Baryum)	mg/Kg	10		520	169
La (Lanthane)	mg/Kg	20		30	< 20
Ce (Cérium)	mg/Kg	10		49	< 10
W (Tungstène)	mg/Kg	10		< 10	< 10
Pb (Plomb)	mg/Kg	10		3370	>6000
Bi (Bismuth)	mg/Kg	10		< 10	< 10
Zr (Zirconium)	mg/Kg	20		191	55

** LQ : Limite de quantification

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

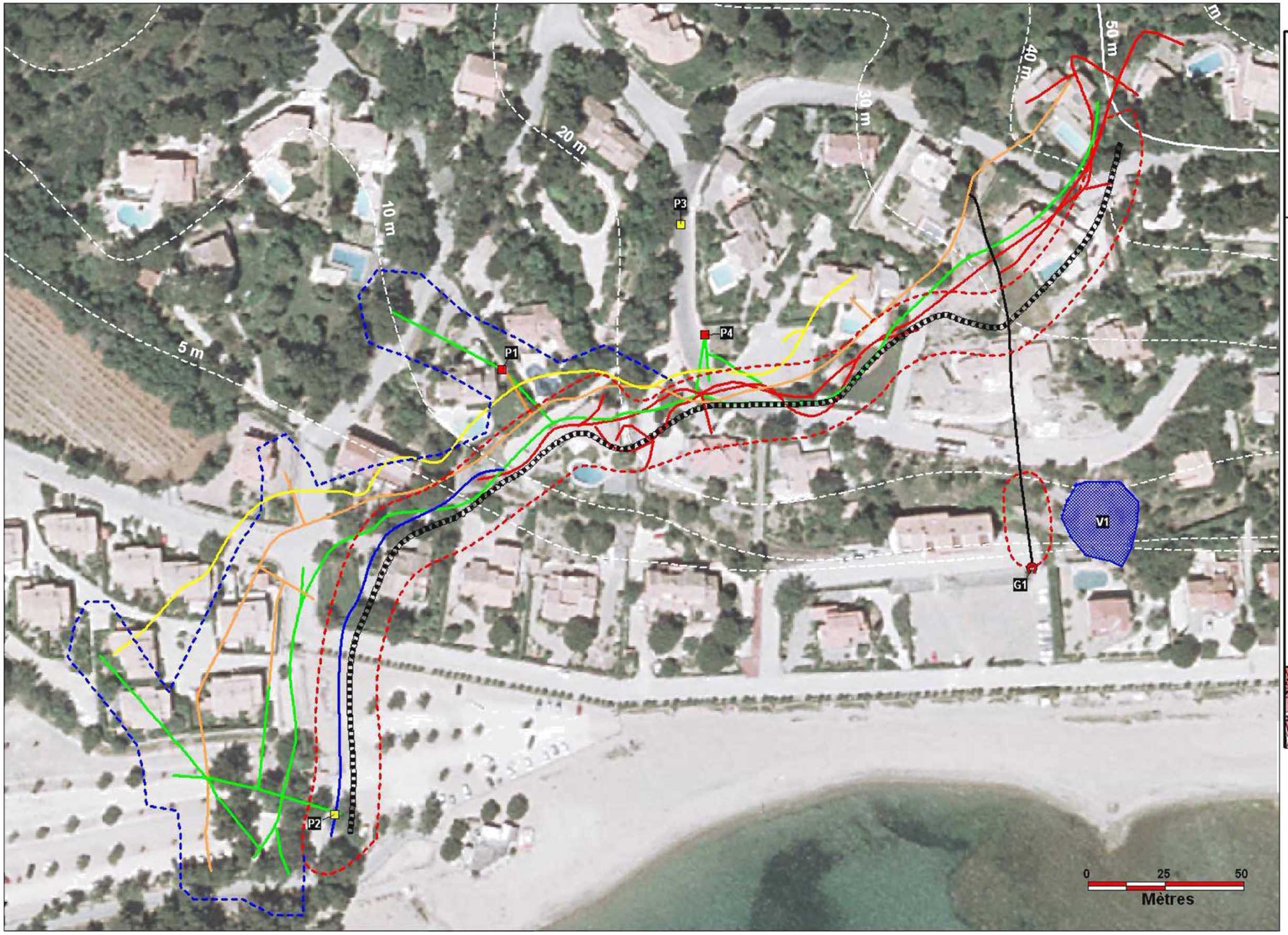
le : 14-SEP-2007 Page 6

Centre scientifique et technique
Service ressources minérales
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34

ANNEXE B

Cartes informatives
(2 cartes)

(hors texte)



brgm

Mine des Bormettes (Var) GEODERIS

Carte informative

Planche 3

Echelle 1 : 1 000

Courbe de niveau (m NGF)

Trace du filon en surface

Ouvrages miniers :

Travaux miniers de surface

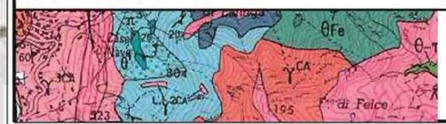
- Puits minier observé
- Puits minier non observé
- Galerie observée
- Verse

Travaux miniers souterrains

- Emprise entre 0 et 20 m de profondeur
- Emprise entre 20 et 50 m de profondeur
- Tracé de la galerie de la mer
- Galerie de niveau entre 0 et -15 m NGF
- Galerie de niveau entre -15 et -40 m NGF
- Galerie de niveau entre -40 et -50 m NGF
- Galerie de niveau entre -50 et -100 m NGF
- Galerie de niveau supérieure ou égale à -100 m NGF

Les fonds topographiques proviennent de la BD ORTHO IGN 42-2001 - BRGM et 63-2004- BRGM conformément à la licence 2006CUDCO153
Copyright IGN Paris 2002 Reproduction interdite

Projection Lambert II étendu



Rapport BRGM/RP- 55548-FR
décembre 2007

brgm

Mine du verger (Var)

GEODERIS

Carte informative

Echelle 1 : 1 500

Planche 8

Courbs de niveau

Ouvrages miniers :

Travaux miniers de surface

- Puits minier observé
- Puits minier non observé
- Galerie observée
- Verse
- Bâtiment

Travaux miniers souterrains

Cote NGF des travaux miniers souterrains

- -100
- -80
- -60
- -40
- -20
- 0
- 20
- 40
- 60
- 80
- 100

Rapport BRGM/RP-55548-FR
décembre 2007

ANNEXE C

Cartes d'aléas
(3 cartes)

(hors texte)

brgm

GEODERIS

Mine des Bormettes (Var)

Carte d'aléa mouvement de terrain

Planche 5

Echelle 1 : 1 000

Courbe de niveau

Trace du tion en surface

Ouvrages miniers :

Travaux miniers de surface

Puits minier observé

Puits minier non observé

Galerie observée

Travaux miniers souterrains

Aléa mouvement de terrain

Effondrement localisé fort

Effondrement localisé moyen

Effondrement localisé faible

Ecroulement rocheux moyen

Tassement faible sur dépôts miniers

Tassement faible sur travaux souterrains (non cartographié)

Rapport BRGM/RP- 55548-FR
décembre 2007

brgm

GEODERIS

Mine du Verger (Var)

Carte d'aléa mouvement de terrain (liés aux travaux souterrains)

Planche 11

Echelle 1 : 1 500

Courbe de niveau

Ouvrages miniers :

Travaux miniers de surface

- Puits minier observé
- Puits minier non observé
- Galerie observée
- Travaux miniers souterrains
- Bâtiment

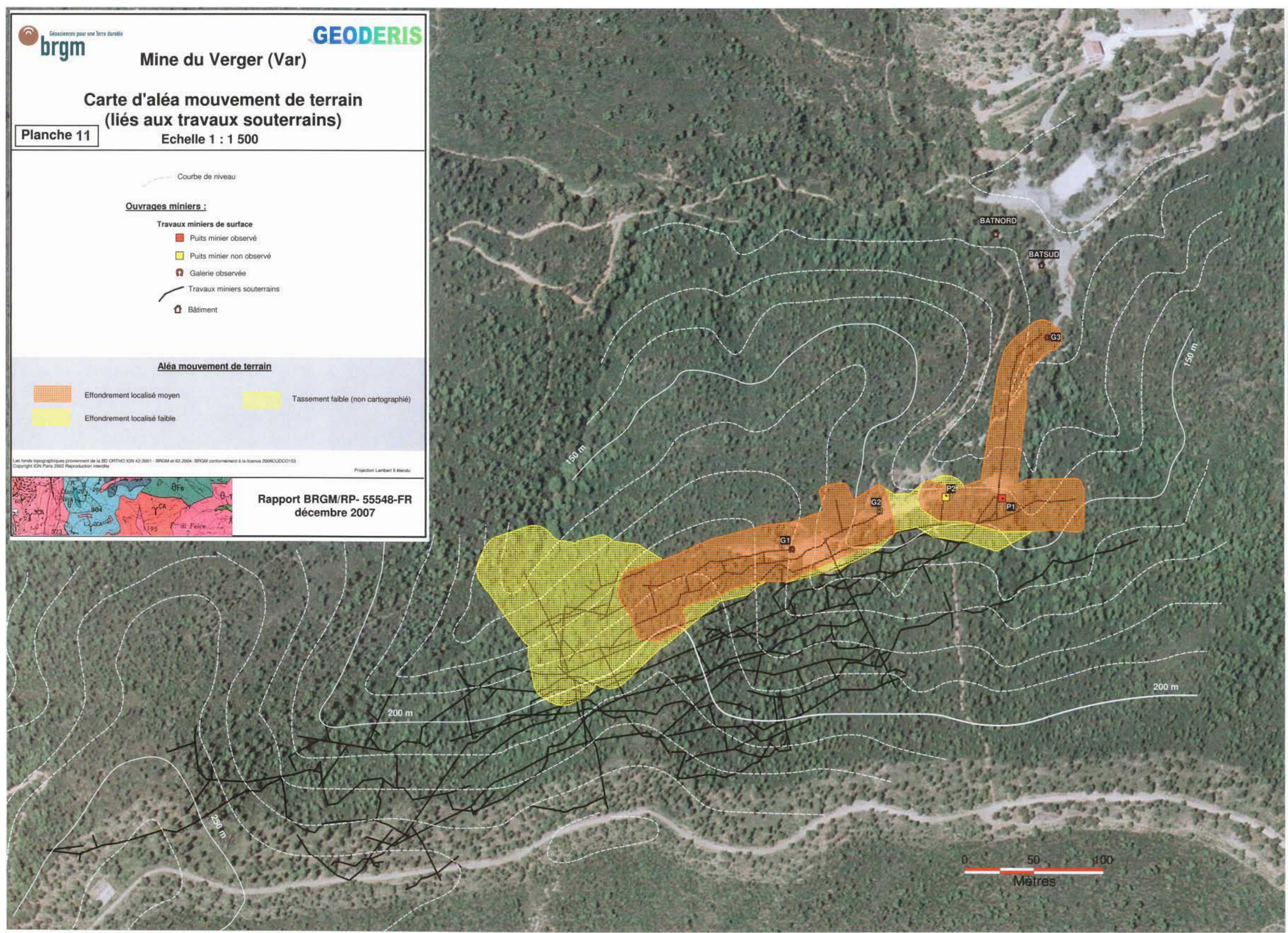
Aléa mouvement de terrain

- Effondrement localisé moyen
- Effondrement localisé faible
- Tassement faible (non cartographié)

Les fonds topographiques proviennent de la BD ORTHO IGN 42-2001 - BRGM et 63-2004- BRGM conformément à la licence 2006ICUDC0153
Copyright IGN Paris 2002 Reproduction interdite

Projection Lambert II étendu

Rapport BRGM/RP- 55548-FR
décembre 2007



Géosciences pour une Terre durable
brgm

GEODERIS

Mine du Verger (Var)

Carte d'aléa mouvement de terrain (liés aux dépôts miniers)

Planche 12

Echelle 1 : 1 500

Courbe de niveau

Ouvrages miniers :

Travaux miniers de surface

- Puits minier observé
- Puits minier non observé
- Galerie observée
- Travaux miniers souterrains
- Bâtiment

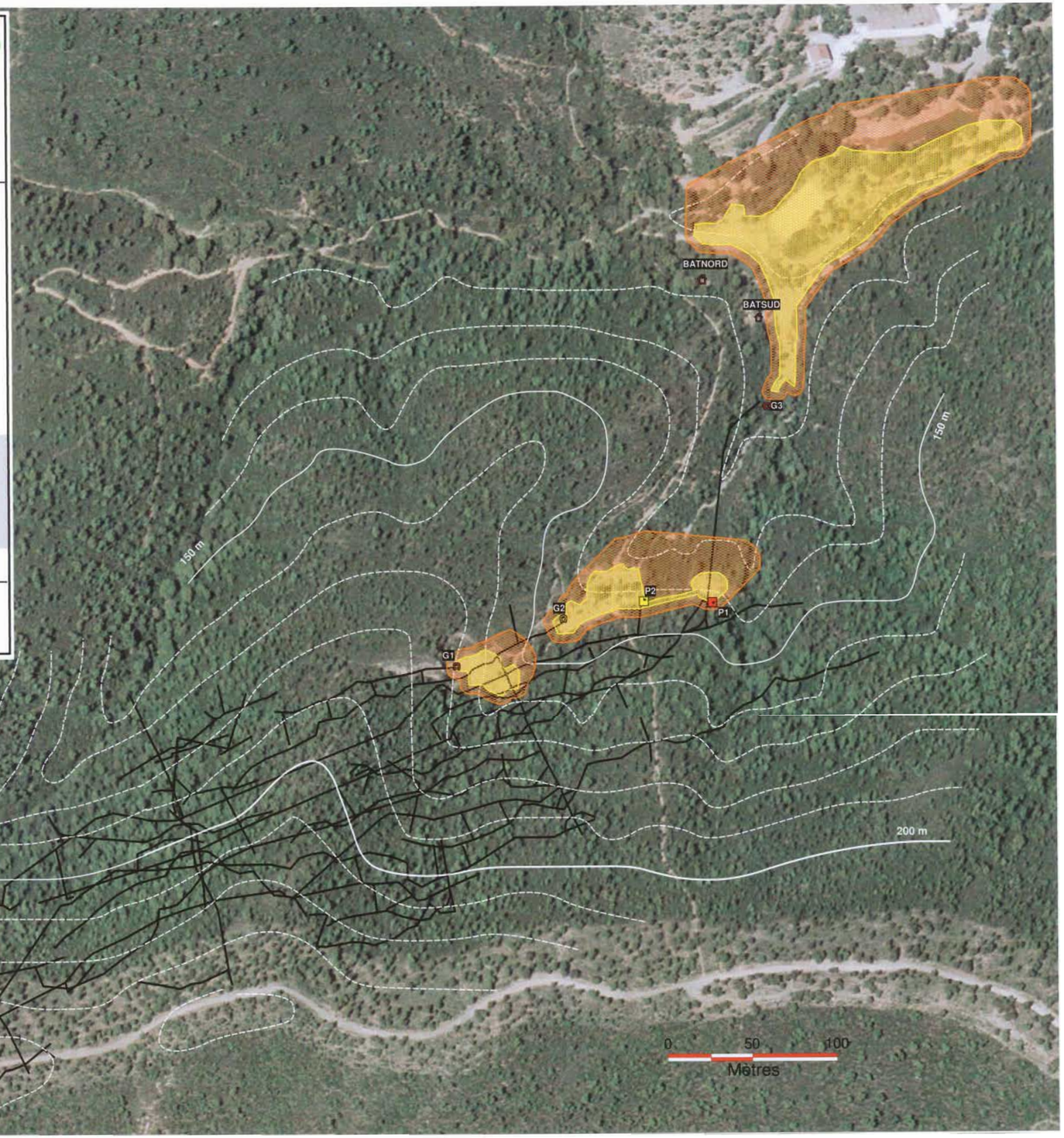
Aléa mouvement de terrain

- Glissement moyen
- Tassement faible

Les fonds topographiques provienment de la BD ORTHO IGN 42-2001 - BRGM et 63-2004- BRGM conformément à la licence 2006CUDCO153
Copyright IGN Paris 2002 Reproduction interdite

Projection Lambert II étendu

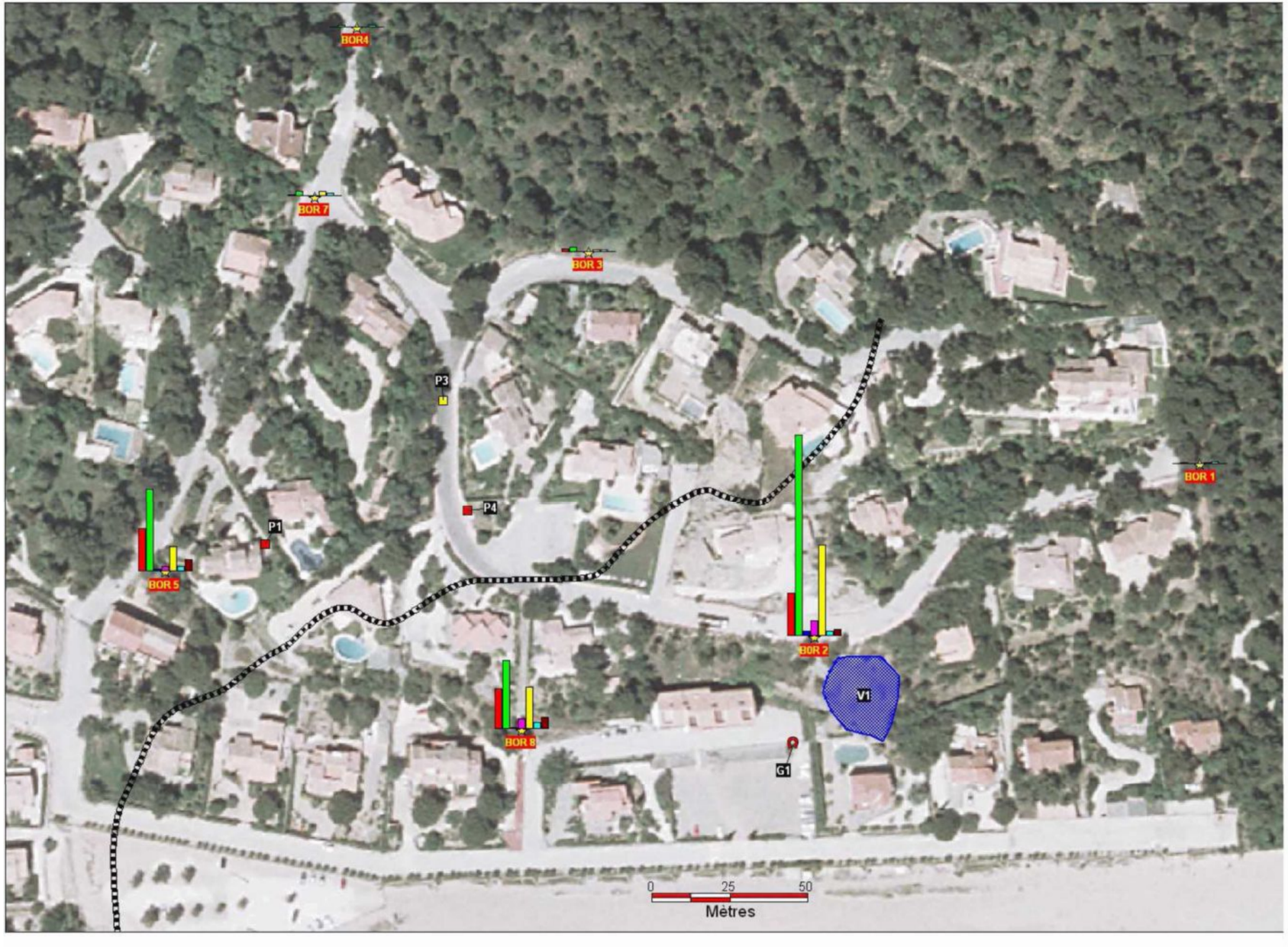
Rapport BRGM/RP- 55548-FR
décembre 2007



ANNEXE D

Données environnementales
(2 cartes)

(hors texte)



brgm

Mine des Bormettes

GEODERIS

Données environnementales

E = 1/1000

Planche 4

LEGENDE

Trace du filon en surface

Puits minier observé

Puits minier non observé

Galerie observée

Echantillon prélevé

Verse

Rapport BRGM/RP- 55548-FR
décembre 2007

1000 ppm

Pb / 10 ppm

Zn / 10 ppm

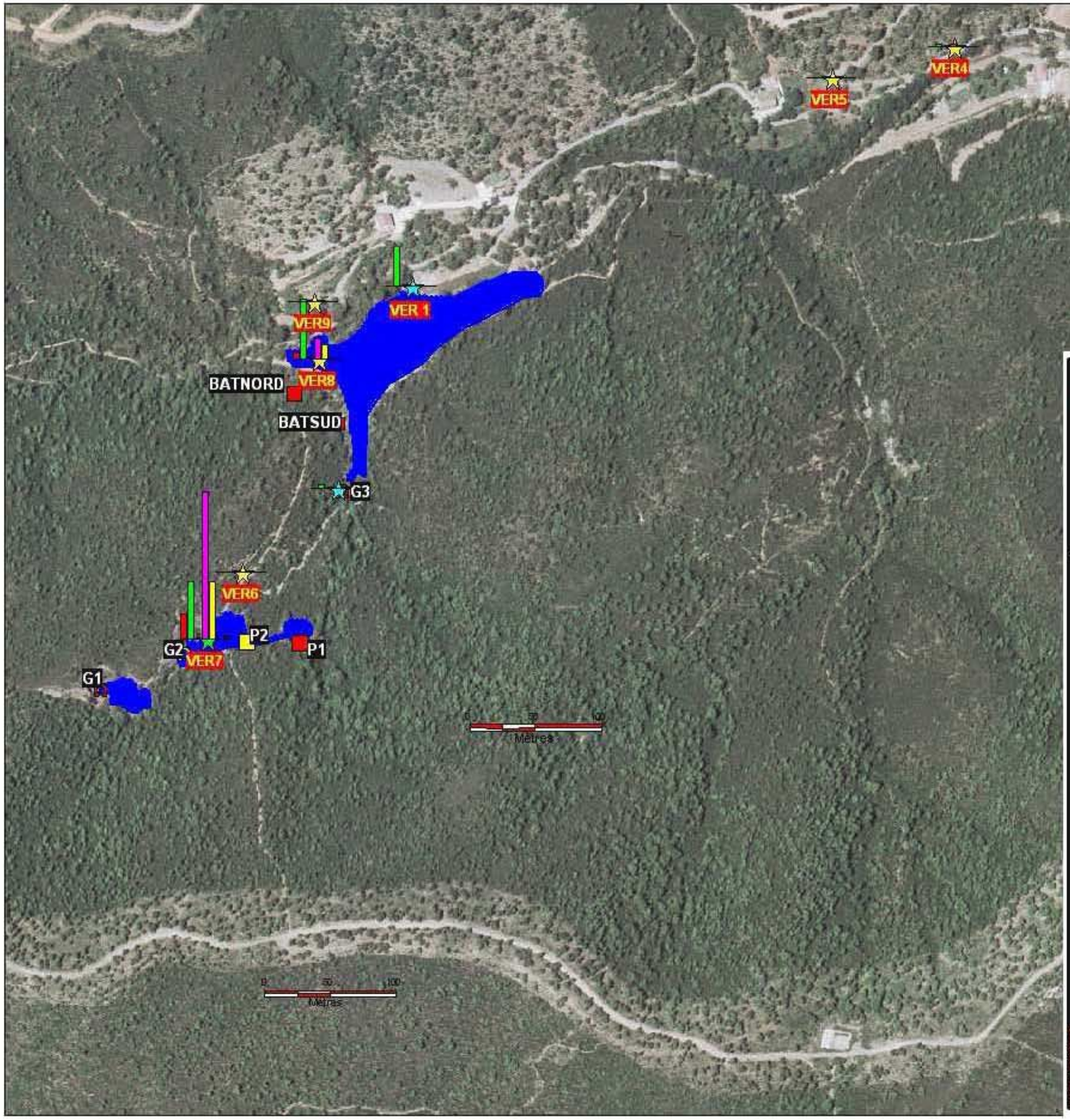
Cd ppm

Sb ppm

Cu ppm

As ppm

Hg x10 ppm



brgm

Mine du verger (Var)

GEODERIS

Données environnementales

Echelle 1 : 2 500

Planche 10

Ouvrages miniers :

- Puits minier observé
- Puits minier non observé
- Galerie observée
- Bâtiment
- Verse

Echantillons prélevés :

- Sédiment de ruisseau
- Sol
- Eau
- Déchets miniers

Résultats des analyses

1 000

- Pb/10 ppb
- Zn/10 ppb
- Cd ppb
- Sb ppb
- Cu ppb
- As ppb
- Hgx10 ppb

Les fonds topographiques proviennent de la BD ORTHO IGN 42-2001 - BRGM e163-2004- BRGM conformément à la licence 2006 UDCO 153
Copyright IGN Paris 2002 Reproduction interdite

Projection Lambert IIe

Rapport BRGM/RP- 55548-FR
décembre 2007