Antenne SUD
40 Rue Pinville
CS 40045
34060 MONTPELLIER CEDEX 2
Tél : +33 (0)4 11 75 72 53

Etude détaillée des aléas mouvements de terrain des sites de Ternand, Sainte-Paule, Espagnes et Berchoux (Rhône)

RAPPORT 2019/270DE – 19RHA22030

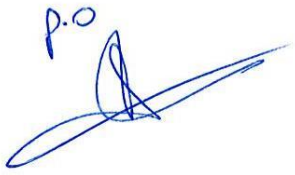
Date : 05/12/2019

Etude détaillée des aléas mouvements de terrain des sites de Ternand, Sainte-Paule, Espagnes et Berchoux (Rhône)

RAPPORT 2019/270DE – 19RHA22030

Diffusion :

Pôle Après-Mine Sud	Philippe CHOQUET Marie-Hélène BOUISSAC
DREAL AURA *11 ex. papier (2 DREAL, 8 communes, 1 DDT)* *12 CD (2 DREAL, 8 communes, 1 DDT, 1 Préfecture)*	Carole CHRISTOPHE
GEODERIS	Rafik HADADOU

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	J.-M. Davesne	C. Vachette	C. Vachette
Visa			

SOMMAIRE

1. Cadre et Objectif 5
2. Définitions et méthodologie 6
2.1 Définition de l'aléa et du risque 6
2.2 Méthodologie mise en œuvre 6
2.3 Références méthodologiques 7
3. Recherche de données et investigations sur site 7
3.1 Recueil de données 7
3.2 Documents consultés 7
3.3 Inspection des sites 8
4. Phase informative 8
4.1 Situations géographique et géomorphologique 8
4.2 Contexte géologique 11
4.2.1 Typologie des principaux gites exploités (ou recherchés) 13
4.2.1.1 Gites de plomb (quartiers de Ternand et du Bout du Monde) 13
4.2.1.2 Gites de fer (quartiers de Berchoux et la Creuse) 14
4.2.1.3 Gite de manganèse (quartier des Espagnes) 15
4.2.1.4 Gite de charbon (quartiers de Sainte-Paule) 16
4.2.2 Terrains de subsurface 16
4.3 Historique et description des travaux 17
4.4 Méthodes d'exploitation 25
4.5 Hydrologie minière, ennoyage et résurgence 29
4.6 Aérage, gaz de mine et feux souterrain 30
4.7 Production(s) 30
4.8 Ouvrages débouchant au jour (ODJ) 31
4.8.1 Caractéristiques des ouvrages débouchant au jour 33
4.8.2 Informations sur les traitements des ODJ 33
4.9 Désordres miniers (fond et surface) 34
4.10 Dépôts 36
4.11 Autres informations 41
4.11.1 Installations de surface liées aux mines 41
4.11.2 Indices miniers 41
4.11.3 Environnement 42
5. Cartographie informative 43
5.1 Système d'information géographique 43
5.2 Méthode de nomination 43
5.3 Qualité et géoréférencement des plans miniers retrouvés 44
5.4 Cartographie des travaux miniers 45
5.4.1 Remarques préalables 45
5.4.2 Travaux miniers avérés (plans de mine) 45
5.4.3 Zones potentiellement affectées par des travaux miniers 46
5.5 Autres éléments cartographiés 46
5.5.1 Les ouvrages débouchant au jour 46
5.5.2 Les désordres 46
5.5.3 Les dépôts 47
5.5.4 Les indices miniers 47
6. Phase d'évaluation des aléas 48
6.1 Identification des aléas retenus / écartés 48
6.1.1 Aléas retenus 48
6.1.1.1 L'aléa Effondrement localisé 48
6.1.1.2 L'aléa Mouvement de pente - Glissement 48
6.1.1.3 L'aléa Tassements sur dépôts 49
6.1.2 Aléa écartés 49

6.1.2.1 L'aléa Affaissement 49
6.1.2.2 L'aléa Effondrement généralisé 50
6.1.2.3 L'aléa tassements sur travaux souterrains 50
6.1.2.4 L'aléa Crevasses 51
6.1.2.5 L'aléa Écroulement rocheux 51
6.1.2.6 L'aléa Échauffement (travaux souterrains, dépôts et affleurements) 51
6.1.3 Aléas non étudiés 52
6.2 Principes d'évaluation des aléas 52
6.3 Effondrements localisés liés aux puits 53
6.3.1 Phénoménologie 53
6.3.2 Prédisposition des puits aux effondrements localisés 54
6.3.3 Intensité des effondrements localisés liés aux puits 56
6.3.4 Niveaux d'aléa des effondrements localisés liés aux puits 57
6.4 Effondrements localisés liés aux travaux miniers souterrains 57
6.4.1 Configurations de travaux souterrains et effondrements localisés 57
6.4.2 Phénoménologie 58
6.4.2.1 Mécanisme 1 : Rupture du toit d'une galerie suivie d'une remontée jusqu'à la surface de type fontis 58
6.4.2.2 Mécanisme 2 : Rupture du pilier-couronne 59
6.4.3 Effondrements localisés de type fontis 60
6.4.3.1 Évaluation de la prédisposition 60
6.4.3.2 Évaluation de l'Intensité 63
6.4.3.3 Évaluation du niveau d'aléa 64
6.4.4 Effondrements localisés de rupture du pilier-couronne 64
6.4.4.1 Évaluation de la prédisposition 64
6.4.4.2 Évaluation de l'Intensité 65
6.4.4.3 Évaluation du niveau d'aléa 65
6.4.5 Effondrements localisés sur les zones potentiellement affectées par des travaux miniers 66
6.5 Glissements sur les talus des dépôts 66
6.6 Tassements sur les dépôts 67
6.7 Cartographie des aléas 68
6.7.1 Aléa Effondrements localisés 69
6.7.1.1 Effondrements localisés liés aux puits 69
6.7.1.2 Effondrements localisés de type fontis 70
6.7.1.3 Effondrements localisés par rupture de pilier-couronne 71
6.7.1.4 Zones potentiellement affectées par des travaux miniers 72
6.7.2 Aléa Glissements sur (talus) de dépôts 72
6.7.3 Aléa Tassements sur dépôts 73
6.8 Éléments de synthèse à retenir 74
7. Liste des annexes 75

Mots clés : Ternand ; Berchoux ; Sainte-Paule ; Espagnes ; Rhône, charbon, mouvements de terrain ; polymétallique ; aléa, mouvements de terrain ; manganèse ; plomb ; fer ; concession ; travaux miniers ; concession ; après-mine ; puits ; galerie

Préambule

Ce rapport s'appuie sur l'étude réalisée par l'INERIS pour GEODERIS intitulée :

« Sites miniers de Ternand, Sainte-Paule, Espagnes et Berchoux (Rhône) – Phase informative et évaluation détaillée des aléas mouvements de terrain - Rapport INERIS DRS-18-174578-10580B – février 2019»

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

Au fil du texte, les lettres entre crochets [A] correspondent à des références bibliographiques de type méthodologique (détail au chapitre 2.4) ; les chiffres entre crochet [1] correspondent à des références de documents d'archives spécifiques au site étudié (détail en annexe 1).

1. CADRE ET OBJECTIF

Le programme de travail GEODERIS 2018 prévoyait la réalisation de l'opération « Etude des aléas mouvement de terrain – secteurs miniers de Ternand, Sainte-Paule, Espagnes et Berchoux (69) ». En effet, l'Inventaire des Risques Miniers (IRM ou scanning « mouvements de terrain ») a classé ces 4 secteurs en priorité P5, c'est-à-dire « *aléa non écarté mais non prioritaire* ».

Le périmètre de l'étude correspond aux territoires des neuf communes de Ternand, Saint-Laurent-d'Oingt, Létra, Saint-Vérand, Sainte-Paule, Blacé, Saint-Julien, Le Perréon et Vaux-en-Beaujolais (Tableau 1). Toutes les exploitations minières recensées dans ce périmètre ont été étudiées, notamment celles des concessions de Ternand (pour plomb), de Berchoux (pour fer) et des Espagnes (pour manganèse), ainsi que le site minier « hors titre » de Sainte-Paule (pour charbon), voir cartes de localisation au paragraphe 4.1 suivant.

Le présent rapport s'appuie sur les informations disponibles dans les documents d'archives (paragraphe 3.1 et annexe 1) et sur les observations de terrain (paragraphe 3.3).

Secteur	N° TITRE BDSTM	NOM TITRE BDSTM	TYPE	SUBSTANCE	COMMUNES
Sud	69SM022	Ternand	Concession	Plomb	Ternand Sainte-Paule Saint-Laurent-d'Oingt Létra Saint-Vérand
	69SM030	Sainte-Paule	Hors titre	Houille	Sainte-Paule Saint-Laurent-d'Oingt
Nord	69SM0002	Berchoux	Concession	Fer	Vaux-en-Beaujolais Perréon
	69SM0007	Les Espagnes	Concession	Manganèse	Saint-Julien Blacé

Tableau 1 : Liste des titres miniers et des communes concernés par l'étude.

Cette étude se base sur le rapport DRS-18-174578-10580B réalisé par l'Ineris en 2018.

2. DEFINITIONS ET METHODOLOGIE

2.1 Définition de l'aléa et du risque

L'aléa traduit la probabilité qu'un phénomène se produise sur un site donné, au cours d'une période de référence, en atteignant une intensité ou une gravité qualifiable ou quantifiable. La caractérisation d'un aléa repose donc classiquement sur le croisement de l'intensité prévisible du phénomène avec sa probabilité d'occurrence.

En termes de mouvements de terrain, la notion de probabilité d'occurrence traduit plutôt la prédisposition d'un site à être affecté par l'un ou l'autre des phénomènes analysés. Elle est généralement moins aisée à appréhender et à quantifier que l'intensité.

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

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

2.2 Méthodologie mise en œuvre

Afin d'établir et d'évaluer les aléas mouvements de terrain, la démarche adoptée est basée sur deux étapes de travail :

1. Première étape : phase informative (voir paragraphe 4).
2. Deuxième étape : phase d'évaluation des aléas (voir paragraphes 6 et suivants).

La phase informative

La phase informative consiste à collecter l'ensemble des informations disponibles sur un site minier donné. Cette phase de synthèse des données existantes comprend la collecte des documents ou plans miniers dans les différents centres d'archivage de France (Archives Nationales, Archives Départementales, etc.…). Elle nécessite également une campagne d'investigations sur site, visant à identifier et à repérer les ouvrages miniers, dépôts, désordres ou tout autre indice minier complémentaire. La phase informative permet aussi de caractériser les contextes géologique et hydrogéologique du site et de décrire l'exploitation (méthode, production…).

Une carte informative est établie à l'issue de cette phase, elle intègre l'ensemble des informations nécessaires à l'élaboration de la phase d'aléa.

La phase d'évaluation des aléas

En se basant sur l'ensemble des informations recueillies au cours de la phase informative, la phase d'évaluation des aléas a pour objectif de localiser et de hiérarchiser les zones exposées à des phénomènes potentiels, en fonction de leur intensité et de leur probabilité d'occurrence prévisible. Cette évaluation n'intègre pas la nature de l'occupation de la surface. Elle transcrit, de manière objective, l'éventualité qu'un phénomène se produise sur un site donné.

Cette phase de l'étude donne naissance à l'établissement d'une, ou de plusieurs cartes d'aléas mouvements de terrain.

2.3 Références méthodologiques

Les évaluations d'aléa seront menées à partir des références méthodologiques suivantes :

[A]. « Guide d'évaluation des aléas miniers », document Ineris référencé Ineris-DRS-17-164640-01944A.

[B]. « Guide pratique pour l'homogénéisation des études détaillées des aléas miniers Volet « effondrement localisé », document GEODERIS référencé N2012/010DE – 12NAT2210.

[C]. « Nouvelles consignes de cartographie de l'aléa effondrement localisé sur travaux avérés et travaux supposés », document GEODERIS référencé N2012/016DI – 12NAT2210.

[D]. « Typologie des événements redoutés au droit d'exploitations pentées et/ou filoniennes - Contribution au développement d'outils d'aide à l'évaluation des aléas dans le cadre des PPRM aléa « mouvements de terrain » pour les gisements pentés et filoniens », Rapport Ineris référencé DRS-05-55102/R02 du 22 décembre 2005.

[E]. « Rapport d'étude DRS-18-174578-10580B : Sites miniers de Ternand, Saint Paule, Espagnes et Berchoux (Rhône). Rapport Ineris du 18 février 2019.

3. RECHERCHE DE DONNEES ET INVESTIGATIONS SUR SITE

3.1 Recueil de données

Les données utilisées pour la réalisation de cette phase informative proviennent essentiellement des organismes suivants (consultés entre avril et septembre 2018) :

- les Archives Nationales à Pierrefitte-sur-Seine ;
- les Archives Départementales du Rhône à Lyon ;
- les Archives de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Auvergne/Rhône-Alpes à Lyon ;
- les Archives du Service Géologique Régional (SGR) d'Auvergne/Rhône-Alpes.

Les neuf mairies concernées par cette étude ont été questionnées et aucune n'a fourni de réponse.
Les bases de données géoréférencées des sites publics http://www.geoportail.gouv.fr (ex : cadastres, photos aériennes anciennes, etc.) et http://www.georisques.gouv.fr ont été passées en revue, tout comme le site http://www.infoterre.brgm.fr (ex : Banque du sous-sol [BSS], BD cavités). L'inventaire en ligne des Archives du Monde du Travail à Roubaix a également été consulté et n'a pas fourni d'information relative aux sites étudiés.

3.2 Documents consultés

Les archives consultées sont essentiellement constituées de documents du Service des Mines (rapports des Ingénieurs des Mines, Procès-Verbaux de visite, tableaux de redevances notamment). Quelques documents d'exploitants (lettre à l'Administration) ont également été retrouvés.
Les inventaires des documents écrits et des plans d'archive les plus pertinents sont présentés dans les tableaux en annexe 1. Un aperçu des plans utilisés pour la cartographie informative des travaux miniers est exposé en annexe 2.
Plus largement, l'ensemble des documents retrouvés et compilés est transmis au format numérique sur le DVD joint au présent rapport.

3.3 Inspection des sites

Deux enquêtes sur le terrain ont eu lieu du 5 au 7 septembre 2018 et du 12 au 13 novembre 2018, après la consultation des archives et l'élaboration d'une « pré-carte » informative. Une dernière phase de validation a été menée le 27 novembre 2018.

Les recherches sur le terrain ont été menées à partir des informations collectées et des premiers calages des éléments cartographiques provenant des documents d'archives consultés.

L'étude de terrain a eu pour objet :

- d'identifier et de lever au dGPS les ouvrages et indices miniers ;
- d'identifier et de positionner au dGPS les dépôts miniers ;
- d'inventorier les différents désordres identifiables en surface.

La campagne d'investigation a pour finalité :

- de donner des valeurs d'incertitude sur le positionnement des ouvrages débouchant au jour et des contours des travaux miniers par rapport au support cartographique de surface utilisé (BD-ORTHO®) ;
- de géoréférencer les plans miniers à partir des ouvrages débouchant au jour et de points topographiques remarquables levés au dGPS ;
- d'évaluer l'état de conservation des ouvrages souterrains lorsqu'ils sont encore accessibles (sans inspection exhaustive).

Les différents éléments observés lors des inspections de terrain ne sont pas regroupés en un paragraphe dédié, ils sont détaillés dans divers paragraphes en face des éléments d'archives qu'ils valident (ou infirment).

4. PHASE INFORMATIVE

4.1 Situations géographique et géomorphologique

Les sites miniers objet de la présente étude se situent sur le territoire du « Beaujolais », dans le département du Rhône, à une trentaine de kilomètres au nord-ouest de Lyon et à une dizaine de kilomètres à l'ouest de Villefranche-sur-Saône.
Les sites étudiés se répartissent en deux secteurs géographiques distincts (Figure 1, Figure 2 et Figure 3) :

- au sud, les sites miniers de Ternand, titre minier n°69SM022, et Sainte-Paule, titre minier n°69SM030 (BDSTM, Base des Sites et Titres Miniers, de GEODERIS). Ces 2 sites concernent principalement les communes de Ternand et de Sainte-Paule, et dans une moindre mesure celles de Saint-Laurent-d'Oingt, Létra et Saint-Vérand. Au total, 6 quartiers de travaux miniers ont été identifiés sur ces 2 sites : Ternand, Le Gonnin (ou Crêt des Bruyères), Létra, Gleizé, Félines et Vallon de Mussy (ou Marduel) ;
- au nord, les sites miniers de Berchoux, titre minier n°69SM0002, et des Espagnes, titre minier n°69SM0007. Le site de Berchoux concerne les communes de Vaux-en-Beaujolais et du Perréon, et le site des Espagnes concerne les communes de Saint-Julien et de Blacé. Au total, 5 quartiers de travaux miniers ont été identifiés sur ces 2 sites : Le Bout du Monde, Pierreplate (ou Champtouly), La Creuse (ou Glabat), Berchoux et Les Espagnes.

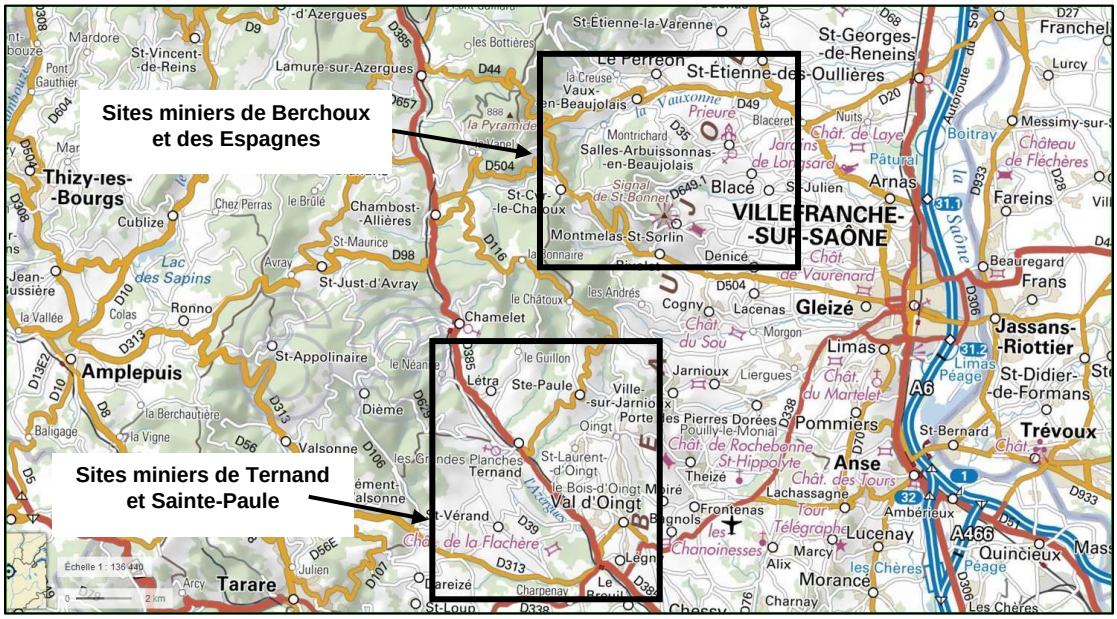


Figure 1 : Localisation des sites étudiés (carte IGN, www.geoportail.fr)

Le secteur sud est traversé du nord-ouest au sud-est par la rivière Azergues ainsi que par une voie ferrée et la route départementale n°485 (RD485). Les versants nord-est et sud-ouest de la vallée d'Azergues sont relativement pentés et régulièrement recoupés par des cours d'eau secondaires. Globalement, l'altitude du fond de vallée varie du 285 à 265 m NGF, du nord au sud, et les deux versants atteignent environ 700 m NGF. Jusqu'à 600 m d'altitude, le secteur est principalement couvert par des terrains agricoles (vignes et pâtures) et par des bois de feuillus, le plus souvent dans les fonds de vallons. Au-delà de 600 m d'altitude, les terrains sont quasi-exclusivement couverts par des bois de feuillus et des plantations de résineux. L'urbanisation est faible et répartie de manière éparse dans des bourgs ou hameaux.

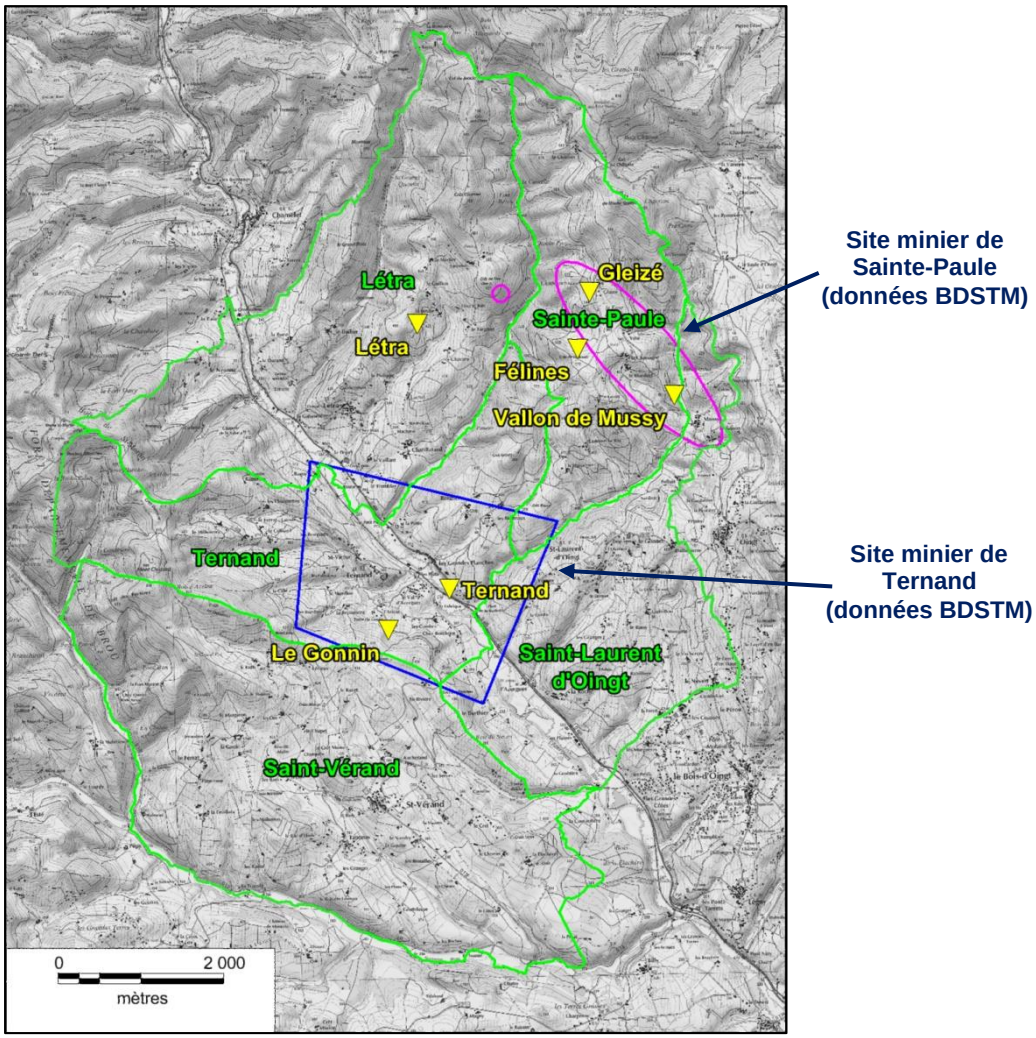


Figure 2 : Aperçus du relief et localisation des sites (en bleu et rose) et des quartiers répertoriés (en jaune) sur le secteur sud (Scan25®, IGN)

Le secteur nord se trouve sur les premiers contreforts du Beaujolais après les plaines de la Saône. Le relief est très vallonné et marqué par une succession de vallées globalement dirigées d'ouest en est. L'altitude varie d'environ 200 m NGF, au niveau des plaines de la Saône à l'est, à 700/800 m NGF aux limites ouest des communes de Vaux-en-Beaujolais et du Perréon. Les deux principaux cours d'eau, affluant de la Saône, sont les ruisseaux de la Vauxonne au nord et du Marverand plus au sud. Jusqu'à 400/500 m d'altitude, le secteur est principalement couvert de vignes. Plus en altitude, vers l'ouest, ce sont des bois de feuillus et des plantations de résineux qui dominent. Comme sur le secteur sud, l'urbanisation est faible et répartie de manière éparse dans des bourgs ou hameaux.

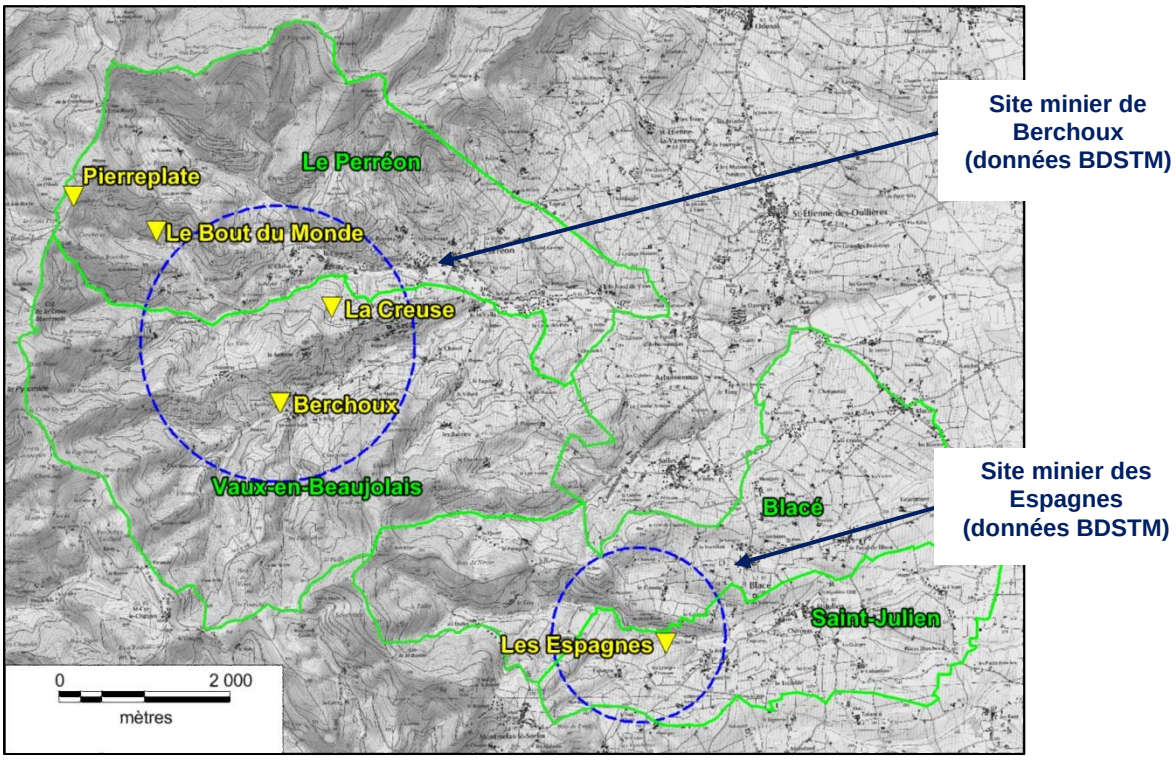


Figure 3 : Aperçu du relief et localisation des sites (en bleu) et des quartiers répertoriés (en jaune) sur le secteur nord (Scan25 ®), IGN)

4.2 Contexte géologique

Du fait de sa situation entre le Massif Central et le domaine alpin, la géologie du Beaujolais est très complexe. « *Presque toutes les grandes catégories de roches et les processus géologiques, issus de géodynamiques interne et externe de la Terre, sont représentés* », [5], [6] et [20]. Le sous-sol est formé d'un socle cristallin composé de diverses roches magmatiques, volcaniques et métamorphiques (Figure 4). Ces formations, essentiellement d'âge Primaire, affleurent sur la moitié « ouest » du Beaujolais et forment un relief de moyenne montagne. A l'est, ce socle cristallin s'est affaissé et il est recouvert par des dépôts argilo-calcaires datant du Secondaire, puis par des dépôts superficiels du Tertiaire et du Quaternaire (Figure 4). Ces formations sédimentaires forment un relief de plaines.

D'un point de vue structural, la partie ouest du Beaujolais est particulièrement accidentée sur les secteurs étudiés. Un nombre conséquent de failles (principalement dirigées NO/SE) et des chevauchements (dirigés NE/SO) sont présents (Figure 5). A l'inverse, la partie est du Beaujolais, est relativement moins accidentée car formée par une stratigraphie de dépôts successifs.

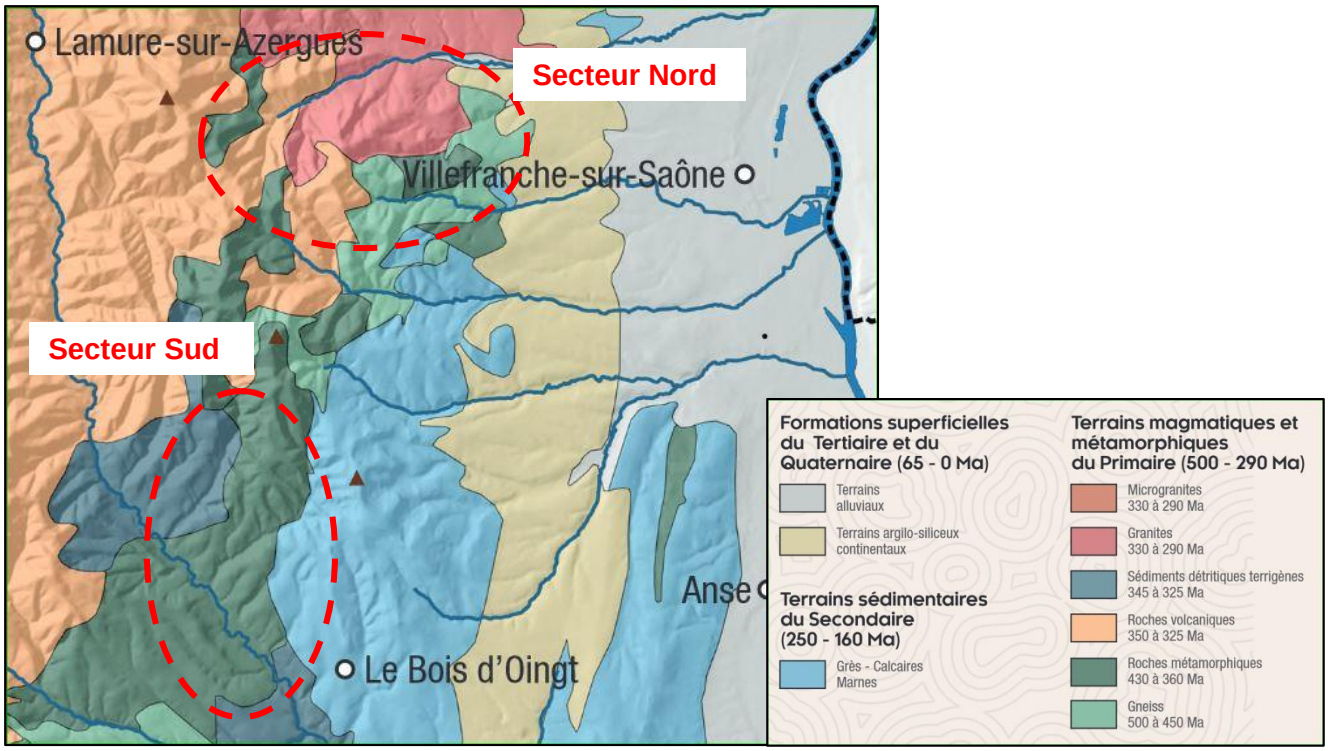


Figure 4 : Carte lithologique simplifiée du Beaujolais (www.geopark-beaujolais.com)

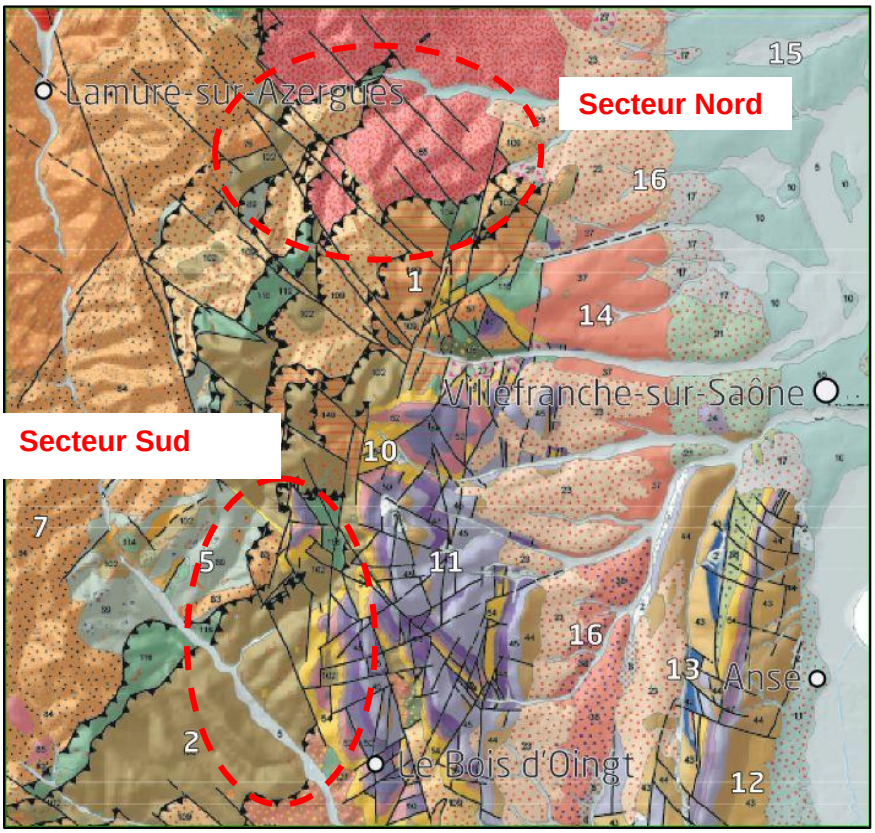


Figure 5 : Carte structurale simplifiée du Beaujolais (www.geopark-beaujolais.com)

4.2.1 Typologie des principaux gites exploités (ou recherchés)

4.2.1.1 Gites de plomb (quartiers de Ternand et du Bout du Monde)

Le quartier de Ternand se situe sur des terrains anciens (dévoniens) composés de roches plutoniques plus ou moins métamorphisées. Au sein de cette formation sont présents deux filons à gangue quartzeuse renfermant des minéralisations de métaux, principalement de la galène argentifère (Pb/AgS) et dans une moindre mesure de la blende (Zn) et de la pyrite (Fe).

Le filon principal est dirigé N110°Est et penté à 75° vers le sud (Figure 6). Le filon croiseur est dirigé N130°Est et également fortement penté vers le sud. La puissance minéralisée du filon principal varie de 0,1 à 3 m ; le filon croiseur est beaucoup moins épais. La teneur en minerai est variable mais en moyenne, sur toutes les parties reconnues, les deux filons quartzeux contiennent 12 à 15% de galène. Des colonnes de galène « *pure sur 5 à 6 m de hauteur et 2 à 3 m d'épaisseur* », [20], [21] sont également parfois décrites.

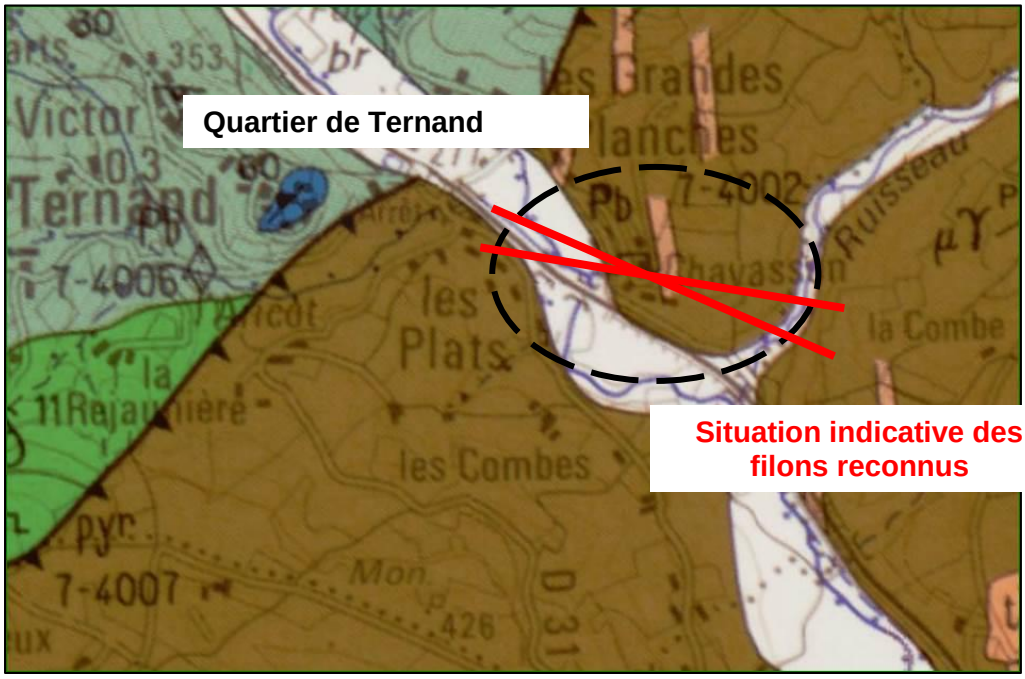


Figure 6 : Quartier de Ternand - Extrait de la carte géologique au 1/50000 (www.infoterre.fr)

Le quartier du Bout du Monde (commune du Perréon) se trouve au sein d'un faisceau filonien présent le long d'une importante faille dirigée NO/SE. Ce faisceau est principalement composé de brèches quartzeuses et barytiques encaissées dans une formation plutonique (granite). Dans ce faisceau, deux filons minéralisés ont été identifiés, un filon principal, de plusieurs mètres d'épaisseur, dirigé, comme la faille, NO/SE, et un filon croiseur dirigé E/O de 0,6 m de puissance (Figure 7). Ces filons renferment des minéralisations de galène et dans une moindre mesure du cuivre gris et de la chalcopyrite.

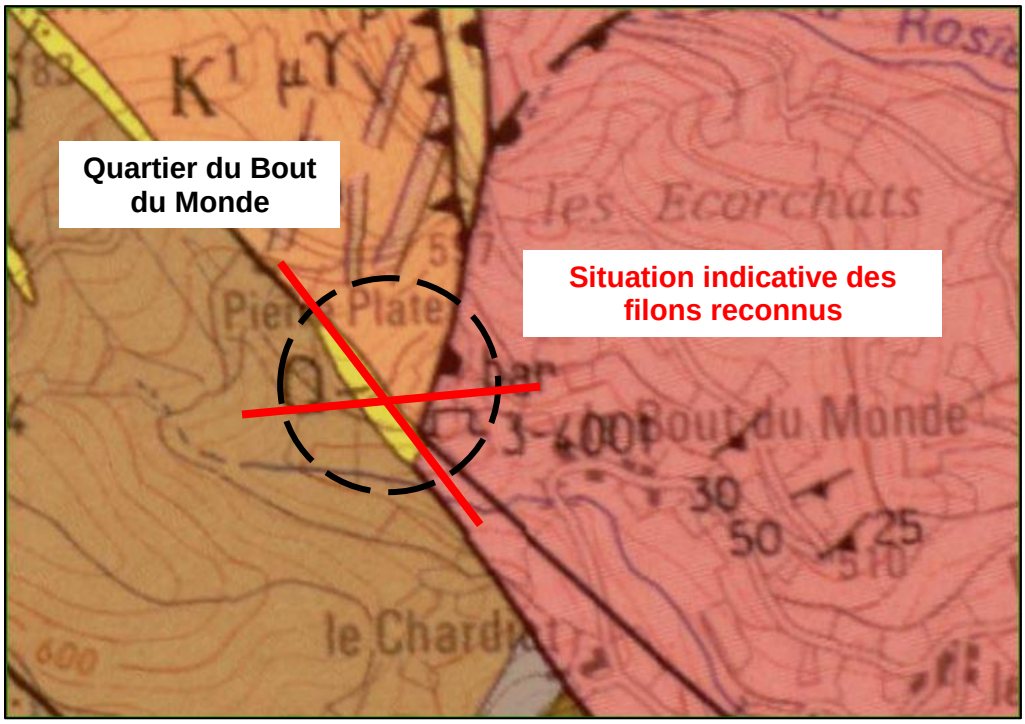


Figure 7 : Quartier du Bout du Monde – Extrait de la carte géologique 1/50000 (www.infoterre.fr)

4.2.1.2 Gites de fer (quartiers de Berchoux et la Creuse)

Le quartier de Berchoux (commune de Vaux-en-Beaujolais) se situe dans une zone métamorphisée en bordure d'un massif granitique. Le gite est constitué de lentilles et d'amas sulfurés présents le long d'une importante faille dirigée NNO/SSE à gangue de quartz, baryte et calcite (Figure 8). Les principales minéralisations présentes sont des sulfures de fer : pyrrhotine, pyrite et chalcopyrite. Elles sont disposées en deux lentilles dont la principale (13 x 7 m) présentait 25 % de souffre, 50 % de fer et 2 % de cuivre. L'encaissant du gîte est variable avec des diorites, des schistes et des granites.

Le quartier de la Creuse (commune de Vaux-en-Beaujolais), se situe également dans une zone métamorphisée en bordure d'un massif granitique et à proximité d'une importante faille dirigée NO/SE (Figure 8). Le gite est formé :

- d'une principale lentille pyriteuse de 10 à 12 m de longueur et 1,5 à 3 m de puissance orientée nord/sud et pentée vers l'est ;
- de plusieurs petites lentilles de 0,1 à 1 m de puissance disséminées sur une quinzaine de mètres dans des tufs volcaniques. Le principal minerai rencontré est de la pyrite.

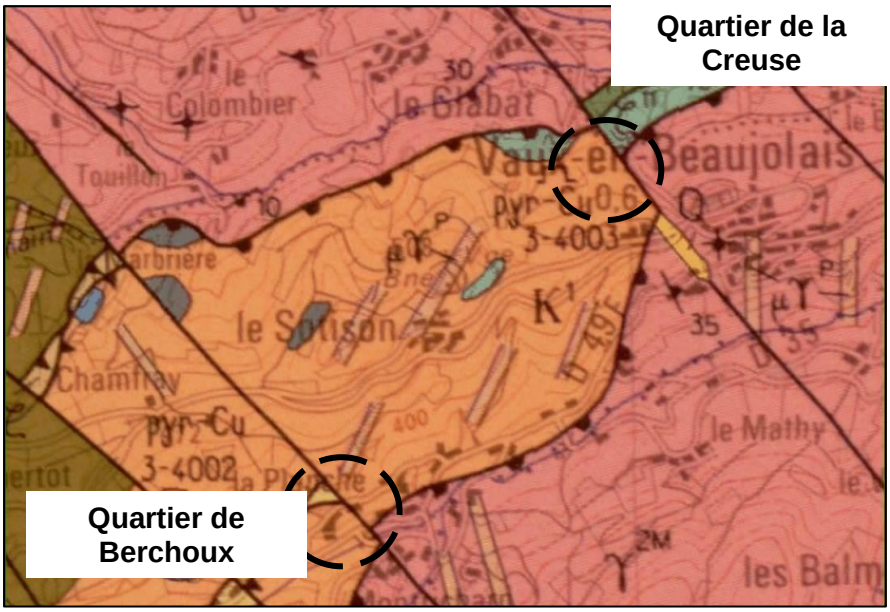


Figure 8 : Quartiers de Berchoux et de la Creuse – Extrait de la carte géologique 1/50000 (www.infoterre.fr)

4.2.1.3 Gite de manganèse (quartier des Espagnes)

Le quartier des Espagnes (commune de Saint-Julien) se situe dans des terrains magmatiques et métamorphisés. Le gite exploré correspond à un filon de 0,5 à 0,8 m de puissance renfermant du bioxyde de manganèse (romanèchite ou pyrolusite) disséminé dans de la fluorine et de la barytine. Ce filon ainsi minéralisé se poursuit sur 400 à 500 m de longueur dans la direction NO/SE et il est fortement incliné vers le NE (Figure 9).

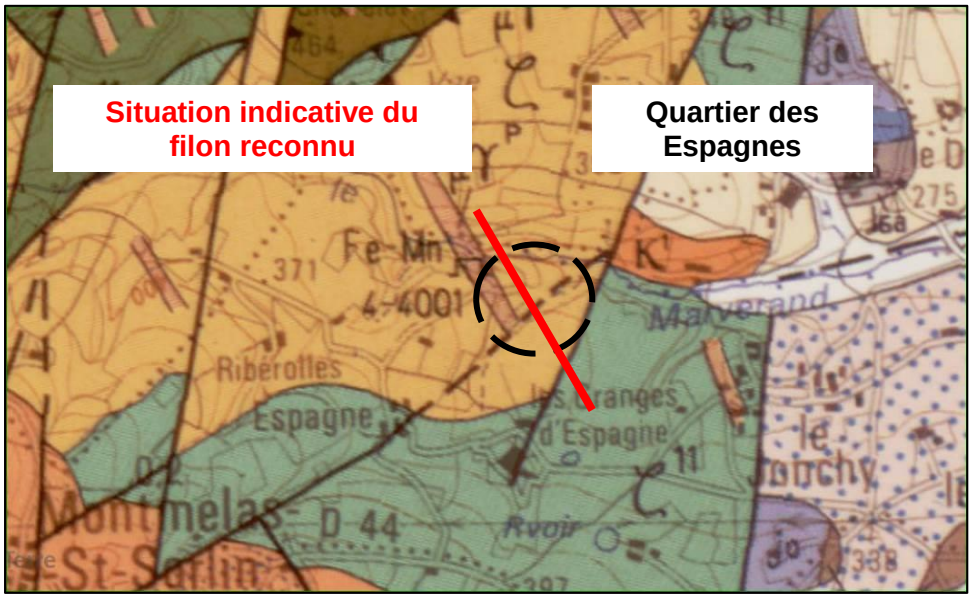


Figure 9 : Quartier des Espagnes – Extrait de la carte géologique 1/50000 (www.infoterre.fr)

4.2.1.4 Gite de charbon (quartiers de Sainte-Paule)

Les trois quartiers du secteur de Sainte-Paule (Gleizé, Féline, Vallon de Mussy) portent sur des lambeaux de terrain houiller isolés et très peu étendus (gites stratiformes) datant, a priori, du Trias (Figure 10). Les quelques veines ou amas de charbon se trouvent au sein d'une alternance d'argiles, de grès altérés et de schistes gréseux immédiatement recouverte par des calcaires du Lias. Ces terrains sédimentaires sont limités par des failles les mettant au contact des terrains magmatiques et métamorphisés largement présents dans cette région.

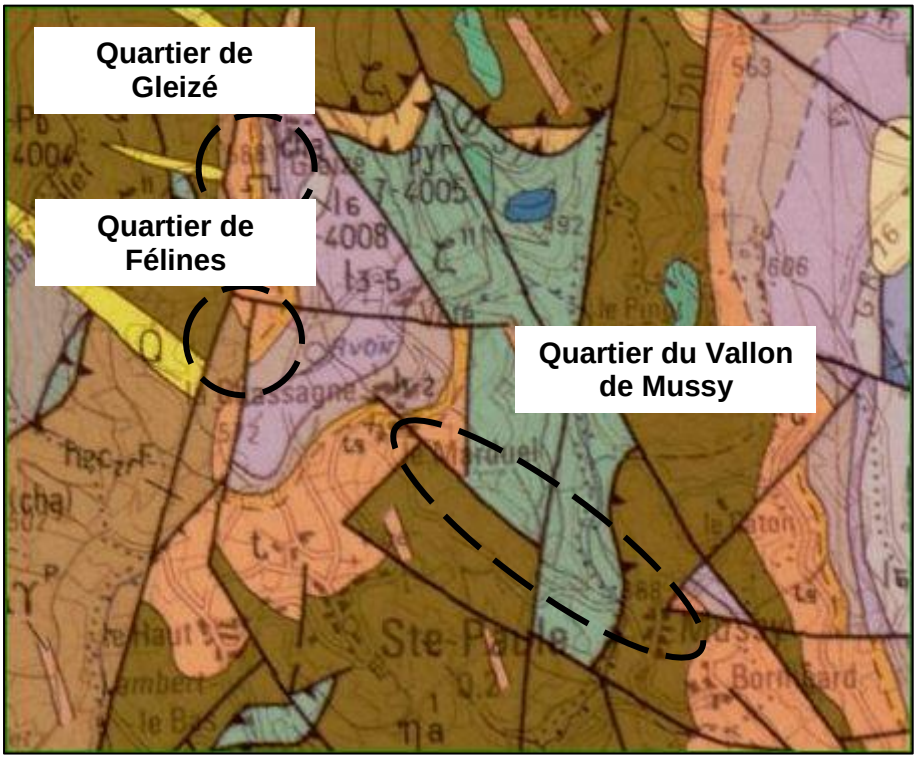


Figure 10 : Quartiers de Sainte-Paule – Extrait de la carte géologique au 1/50000 (www.infoterre.fr)

4.2.2 Terrains de subsurface

Sur la majorité des sites étudiés (mines polymétalliques notamment), les roches magmatiques, plus ou moins métamorphisées, encaissant les minéralisations affleurent quasi-systématiquement. L'épaisseur des terrains peu cohérents de surface est donc généralement faible et a été estimée à 1 m sur ces sites.

Concernant les trois quartiers du secteur de Sainte-Paule, les terrains affleurants sont sédimentaires (essentiellement calcaires). L'épaisseur des terrains peu cohérents de surface est probablement supérieure à celle des autres sites et a été estimée à 3 m.

4.3 Historique et description des travaux

Les travaux de recherche ou d'exploitation réalisés sur les 11 quartiers miniers recensés sont synthétisés dans le Tableau 2 suivant. Pour chacun de ces quartiers sont détaillés :

- les caractéristiques géologiques du gîte ;
- l'historique des travaux miniers ;
- les observations de terrain ;
- les principes de cartographie retenus ;
- les principales données d'archive utilisées.

Quartier minier	Géologie	Synthèse des données d'archive consultées	Cartographie &Travaux retenus (commentaires/observations terrain, 2018)
Le Bout du Monde / Hors titre	Filons de galène à gangues quartzeuses et barytiques. L'encaissant est variable : microgranite, porphyre, schistes, dacite etc. Un filon principal : N310°E – subvertical (incliné NE) Un filon secondaire (croiseur) : N90°E subvertical Le filon principal mesure 1,2 à 3 m de puissance pour 25 cm utiles et le filon croiseur à 0,6 m de puissance pour moins de 10 cm utiles.	**Période d'activité : < 1850, 1865 et 1908** Deux plans des travaux ont été retrouvés (plans 1 et 2 non datés). Les documents relatant ces travaux sont succincts. Il s'agit d'un rapport de 1908 [1], de documents synthétiques [2] issus de la BSS et des quelques mentions manuscrites figurant sur le plan 1. Les premiers travaux ne sont pas datés (<1850). Ils ont a priori porté sur les affleurements des deux filons. Un ancien ouvrage dit « puits des anciens » (ODJ n°4), situé à l'affleurement du filon croiseur, figure sur les 2 plans retrouvés. Les premiers travaux relatés datent de « *vers 1865* » et correspondent à : des grattages en surface du filon principal ; un puits de 6 m de profondeur (ODJ n°3) ; la galerie cote +9 (ODJ n°2) sur environ 100 m de longueur suivant la direction du filon principal ; la galerie cote 0 (ODJ n°1) sur 35 m de longueur. De nouvelles recherches sont entreprises en octobre 1907 puis en 1908. Les deux galeries de 1865 sont déblayées et poursuivies de sorte à reconnaitre le filon principal et le filon croiseur. Au total, 240 m de galeries sont à nouveau creusés. Après 1908, plus aucune activité n'a été répertoriée sur ce quartier.	Données de terrain : 3 zones de dépôts ont été répertoriées (H1 à 3) ; les 2 entrées de galeries (ODJ n°1 et 2) ont été retrouvées ouvertes et accessibles sur 5 m. Au-delà, leur accès est fermé par une grille ; l'entrée de la galerie cote 0 (ODJ n°1) présente une résurgence (indice 1). Un mur bâti à l'intérieur (sur lequel repose la grille d'accès) fait office de barrage et une petite réserve d'eau est présente ; le puits de recherche de 1865 (ODJ n°3) est visible et vide sans aucune protection ; l'emplacement du « puits des anciens » (ODJ n°4) est marqué par une dépression remplie de cailloux et une ancienne tranchée d'accès est visible ; une excavation (indice 23) pouvant correspondre à un effondrement localisé lié aux possibles vieux travaux du puits 4. Travaux retenus et cartographiés : Les levés au DGPS des 4 ouvrages débouchant au jour ont permis de géoréférencer les plans 1 et 2. Les travaux de recherche réalisés vers 1865 et en 1908 (375 m de galerie au total) sont cartographiés précisément. L'incertitude de position des galeries varie de 5 m (à proximité des ouvrages) à 10 m (à l'extrémité nord). À partir de la position des puits anciens (ODJ n°3 et 4) et selon la direction des filons principal et croiseur, deux zones de travaux ont été cartographiées sous la forme d'une zone potentiellement affectée par des travaux miniers (voir définition paragraphe 5.4.3). Ces zones font 50 m de longueur (25 m de part et d'autre des puits) et 15 à 20 m de largeur. Ces deux enveloppes comprennent l'incertitude de position. Les travaux de 1865 et 1908 consistent uniquement en des galeries isolées et de niveau. Étant donnée la situation du quartier sur un versant penté, la profondeur augmente rapidement de quelques mètres au niveau des deux entrées de galerie (ODJ n°1 et 2) à 60/70 m au nord.
Pierreplate (Champtouly) / Hors titre	Filon de barytine, fluorine et quartz. L'encaissant est constitué de tufs rhyolitiques. Filon : N320°E – vertical Puissance : 1,5 à 2 m (estimé)	**Période d'activité : 1950-1980 (estimé)** Un plan positionnant les travaux anciens a été retrouvé (plan 3, 1973). Les documents relatant ces travaux sont succincts. Il s'agit de documents synthétiques [3], [4] issus de la BSS et consécutifs à des inventaires miniers ou des prospections réalisées entre 1950 et 1980. Les travaux répertoriés ne sont pas datés avec certitude. Il s'agirait de recherches de fluorine réalisées aux alentours des années 1950. Ces travaux ont ensuite été revus et recensés lors d'une campagne de prospection minière réalisée dans les années 70. Il s'agit uniquement d'un puits de 2,5 m de profondeur et d'une galerie d'une vingtaine de mètres de longueur tous deux « *creusés dans le filon* ».	Données de terrain : l'entrée de la galerie (ODJ n°5) a été retrouvée ouverte et accessible. L'ensemble de la recherche (galerie d'environ 20 m de longueur) est accessible ; un puits (ODJ n°6) relie la surface à la galerie (à environ 15 m de l'entrée). Le puits est ouvert et entièrement vide. L'orifice en surface est non signalé ; un petit dépôt (H4) en plaquage à l'aval de l'entrée est présent ; en amont de la galerie, 2 zones de grattage au droit du filon sont visibles (indices 16 et 17). Elles forment une excavation d'environ 2 m de diamètre et de 0,5 à 2 m de profondeur. Travaux retenus et cartographiés : L'entrée de galerie (ODJ n°5) a été levée au dGPS et le plan 3 représente la galerie sur un fond parcellaire à l'échelle 1/2000. Le contour de la galerie a été digitalisé après géoréférencement du plan. La marge d'incertitude de position est de 5 m (y compris pour le puits). Le « petit puits » mentionné dans les archives, et positionné sur le plan 3, a été représenté comme un grattage (indice 17 observé) et non comme un ouvrage en tant que tel, faute de recroisement suffisant sur la nature de cet ouvrage. Les archives [4] relatent une halde de 250 m^3 au niveau de l'entrée de la galerie (ODJ n°5). Un tel dépôt n'a pas été relevé sur le terrain (uniquement plaquage au sol).
La Creuse (Glabat) / concession de Berchoux	Amas et minéralisations disséminées dans une formation de tufs volcaniques métamorphisés. Une principale lentille pyriteuse de 10-12 m de longueur et de 1,6 m de puissance, dirigée nord/sud et inclinée vers l'est (subverticale). Plusieurs petites zones minéralisées (imprégnations dans l'encaissant).	**Période d'activité : 1902-1906** Un plan des travaux réalisés entre 1902 et 1906 a été retrouvé (plan 4, estimé de 1931, a priori joint à la demande de renonciation [5]). Les travaux sont décrits dans des rapports [5], [6] et dans les documents synthétiques [7], [8] issus de la BSS. En 1902, les premières recherches sont réalisées avec un puits (ODJ n°9) de 15 m de profondeur et un travers-banc (ODJ n°8) de 75 m de longueur. En 1904, une nouvelle entrée est ouverte (ODJ n°7), en aval des travaux précédents, et près de 300 m de galerie (et un « *faux puits* ») sont creusés pour reconnaitre le gisement. Ce dernier est jugé trop pauvre pour envisager une exploitation, le quartier est définitivement abandonné en 1906. Lors de la renonciation de la concession de Berchoux en 1931, tous les ouvrages sont dits « *bouchés* ». En 1962, dans le cadre d'une campagne de prospection minière (BRGM), une entrée (a priori ODJ n°7) est a été débouchée pour réaliser un échantillonnage au fond.	Données de terrain : l'entrée de la galerie de 1904 (ODJ n°7) est ouverte et accessible. Il s'agit a priori de l'ouvrage réouvert en 1962 pour réaliser un échantillonnage. Son orifice d'accès est relativement restreint (L=1,5 m et h=1 m) et les premiers mètres sont en partie ennoyée. Une résurgence s'observe probablement par temps de pluie (indice 2) ; 2 zones de dépôt (n°5 et 6) sont présentes. Elles correspondent à l'emplacement supposé des ouvrages datant de 1904 (ODJ n°8 et 9). Travaux retenus et cartographiés : Le plan 4 représente l'ensemble des travaux exécutés entre 1902 et 1906. Les levés dGPS de l'entrée ouverte (ODJ n°7) et des deux zones de dépôts ont permis de géoréférencer le plan avec une relative bonne précision. Une marge d'incertitude de position de 10 m a été retenue (ramenée à 5 m à proximité des entrées 7 et 8). Les travaux consistent uniquement en des galeries isolées (+ 1 « faux puits », autre nom pour bure). La quasi-totalité des galeries se trouve à moins de 30 m de profondeur et une partie se situe à moins de 10 m de profondeur.

Quartier minier	Géologie	Synthèse des données d'archive consultées	Cartographie &Travaux retenus (commentaires/observations terrain, 2018)
Berchoux : concession de Berchoux	Gisement de type amas et minéralisations disséminées. La grande majorité du minerai de fer extrait provient de 2 lentilles pyriteuses donnant 40-45% de soufre et 2-4% de cuivre. Ces lentilles sont présentes en bordure ouest d'une importante faille qui traverse le quartier. Faille N310°E–75°S. Par ailleurs d'autres minéralisations ont été retrouvées sur des petits filons secondaires ou en imprégnation dans les terrains encaissants. Lentille 1 : située entre le niveau 0 et le niveau -12, sur 13 m de longueur et avec une puissance moyenne de 7 m. Lentille 2 : située entre le niveau 0 et le niveau -17, sur 30 m de longueur et avec une puissance maximale d'environ 18 m. Terrains encaissants variables : diorites, gabbros, schistes, granites.	**Période d'activité : 18ème siècle, 1904-1919** Deux plans des travaux ont été retrouvés (plan 5 de 1917 et plan 7 de 1963). Les travaux sont décrits en détails dans un mémoire de 1931 [6] et dans plusieurs rapports d'Ingénieur des Mines (demande renonciation [5], PV de visite [10]). Au milieu du 19ième siècle, une fouille en surface aurait été réalisées au droit du chapeau de fer présent sur ce quartier. Le minerai extrait servait à produire du soufre natif. Aucun document précis ne relate ces travaux. Vers 1905, des nouvelles recherches reprennent à partir d'une galerie souterraine [10] ouverte en aval de la précédente fouille. Ces travaux sont menés activement et en 1907/1908, deux lentilles pyriteuse de faible extension sont reconnues et exploitées entre la surface et 30 m de profondeur (tranches montantes remblayées). Par ailleurs, d'importants travaux d'exploration sont poursuivis pour retrouver d'autres lentilles. Les recherches sont infructueuses et les travaux de la mine de Berchoux sont définitivement abandonnés en mars 1919. Au total, près de 3800 t de minerai ont été extraites et près de 3000 m de galeries d'exploration ont été percées sur 4 niveaux (0, -10, -30, -60 et -90 par rapport à la cote de l'unique entrée de galerie (ODJ n°10) desservant les travaux souterrains).	Données de terrain : l'entrée de galerie (ODJ n°10) est ouverte et elle donne accès à l'ensemble du niveau 0 (hors d'eau) ; une petite résurgence est présente à la sortie de la galerie 10 (indice 22) ; le bure accédant aux niveaux inférieurs a été observé plein d'eau. Mis à part le niveau 0, tous les travaux sont ennoyés ; une visite partielle du niveau 0 a permis de relever l'état des galeries. Mise à part une montée de voute instable au niveau de l'entrée, aucun éboulement en souterrain n'a été observé. La roche encaissante apparait globalement massive, même si certaines zones sont altérées. une zone de dépôt (H7) conséquente est présente en aval de l'entrée de la galerie et le long du chemin communal. Travaux retenus et cartographiés : Le calage des plans 5 et 7 a permis de cartographier l'ensemble des travaux souterrains. Une marge d'incertitude de position de 10 m en moyenne a été retenue. Elle est de 5 m à proximité de l'entrée levée au DGPS (ODJ n°10) et elle atteint 15 m pour la galerie d'exploration s'éloignant à plus de 100 m au nord de l'entrée. Les deux lentilles ont été exploitées par tranches montantes remblayées, elles se situent entre 10 et 30 m de profondeur par rapport à la surface. Les autres travaux souterrains (exploration) correspondent principalement à des galeries isolées de niveau. Des bures et une descenderie intérieure ont également été réalisés pour mettre en communication les différents niveaux. Par rapport à la surface, tous ces travaux se trouvent entre 5 et 100 m de profondeur. **Remarque :** la fouille du 18ième siècle n'apparait sur aucun plan, cependant le plan 7 localise le chapeau de fer. Cette zone se situe sous la route longeant au nord les habitations du hameau de Berchoux. À cet endroit, un talus est présent mais aucune excavation n'est présente. Cette position est localisée sous la forme d'un indice minier (n°3).
Les Espagnes / concession des Espagnes	Filon de pyrolusite (bioxyde de manganèse) à gangue de barytine et fluorine. L'encaissant est essentiellement composé de roche magmatique (granite, gneiss, porphyres). Filon dirigé NO/SE, fortement incliné vers le NE (80°) et puissant de 0,5 à 0,8 m. Les minéralisations sont disséminées dans la gangue sur 0,2 m d'épaisseur.	**Période d'activité : 1827-1855** Aucun plan des travaux n'a été retrouvé. Seule une coupe schématique (Coupe 9, [12]) représente les travaux réalisés. Le plan 8 (1827) permet de localiser approximativement le quartier. Les données sur ce quartier sont issues des documents synthétiques de la BSS ([11], [12]), et du rapport de demande en renonciation de 1924, [13]. Les travaux se situent sur la rive droite d'un petit affluent du ruisseau du Marverand. Les premiers travaux répertoriés datent de 1827, un puits de 12 m de profondeur et une tranchée d'une dizaine de mètres de longueur sont réalisés à l'affleurement du filon. De 1828 à 1830, aucune activité n'est recensée. Au même endroit, les travaux sont repris entre 1831 et 1834. Il s'agit de la principale période d'activité avec quelques dizaines de tonnes de minerais extraites (dit de qualité médiocre). Ces travaux sont dits « *échelonnés sur 350 m et comprennent plusieurs petits puits (<20 m de profondeur) et galeries à flancs de coteaux* ». Entre 1835 et 1855, aucune exploitation régulière n'est relevée, juste quelques courtes tentatives infructueuses de reprises (1845, 1847, 1849). En 1850, les travaux sont constatés « *à l'abandon et noyés* ». En 1855, les travaux sont repris avec l'attaque d'une galerie en aval des anciens travaux. Cette galerie inférieure atteint 200 m de longueur. A cette profondeur, le filon est inexploitable, quelques petites recoupes sont faites, sans succès. Les derniers travaux datent de septembre 1857. Sur cette dernière période de travaux, seul le creusement et l'entretien de la galerie inférieure sont réalisés, en parallèle de « *glanages dans les anciens travaux proches de la surface* ». Au moment de la renonciation (1920/1923), la visite du quartier par le Service des Mines relève que « *les orifices des travaux sont entièrement bouchés* » [13]. En 1960 [12], les seuls vestiges visibles sur le quartier sont une « *halde* » d'environ 450 m^3 entièrement végétalisée.	Données de terrain : L'inspection du vallon du petit affluent du ruisseau de Marverand a permis de relever : sur la rive sud et à proximité immédiate du lit du ruisseau (côté travaux), un ancien grattage est présent sur le talus ainsi qu'une petite plate-forme (indice 4). Ces observations pourraient correspondre à la position de l'entrée de la galerie inférieure (indice non retenu comme galerie car trop incertaine). Au-dessus de cet indice, le versant présente une terrasse pouvant correspondre à un ancien chemin (à ce niveau, la végétation trop dense contrarie l'observation) ; sur la rive sud et à une centaine de mètres à l'ouest des indices 4 et 5, une verse de déchets en tout genre est présente ainsi qu'une petite excavation (indice 21). Cette zone pourrait correspondre à la position des travaux ; sur la rive nord (en face de l'indice précédent), une dépression conséquente (5 m de diamètre et 1,5 m de profondeur) est présente (indice 5) en bordure immédiate du lit du ruisseau. Cette dépression pourrait correspondre à un ancien grattage ou un puits réalisé sur le filon ; à proximité du vallon est également présente une ancienne carrière à ciel ouvert (indice 18). Travaux retenus et cartographiés : Étant donné l'imprécision importante sur la situation des travaux miniers et l'absence d'indice de terrain probant, aucune zone avérée de travaux, ni même potentiellement affectée par des travaux miniers, n'a été représentée sur ce quartier. Sur la carte informative, seuls sont représentés les indices de terrain observés (indices 4, 5 et 18). L'indice 8 correspond à la situation indicative du quartier minier.
Létra / Hors titre	Chapeau de fer avec minéralisations de pyrite et d'oxydes de fer sur 1 m de puissance. Possible trace d'oxyde de plomb. Roche encaissante composée de schistes.	**Période d'activité : vers 1850 et 1894-1896** Aucun plan des travaux et de localisation précise du (ou des) quartier (s) n'a été retrouvé. Un site est repéré approximativement à partir de mention manuscrite. Les données relatives à aux recherches minières sur Létra proviennent de 2 documents synthétiques issus de la BSS ([14], [15]), et de 2 rapports généraux sur les mines du Rhône de 1896 [16] et 1895 [17]. D'après [14], [15], vers 1850, deux entrées de galerie sont percées de part et d'autre d'une zone filonienne ferrugineuse (« descenderies espacée de 1 m) ». La longueur de ces galeries n'est pas précisée (a priori pas plus de quelques mètres). D'après [16], [17], entre 1894 et 1896, d'anciennes galeries percées dans des schistes pyritisés sont rouvertes (quartier décrit sur [14] et [15]) et sur un autre quartier non localisé, un puits de 47 m de profondeur est foncé.	Données de terrain : Seul le quartier des 2 galeries est localisé comme situé « *entre les hameaux « la Roche » et « Sornel* ». Aucune trace de ces travaux n'a été retrouvée. Travaux retenus et cartographiés : Étant donné l'imprécision importante sur la situation des travaux miniers et l'absence d'indice probant retrouvé sur le terrain, aucune zone avérée de travaux, ni même potentiellement affectée par des travaux miniers, n'a été représentée sur ce quartier. Sur la carte informative, seule la situation approximative du quartier est représentée par un indice (n°6).

Quartier minier	Géologie	Synthèse des données d'archive consultées	Cartographie &Travaux retenus (commentaires/observations terrain, 2018)
Ternand / concession de Ternand	Filons de galène à gangue quartzeuse. L'encaissant est composé de roches granitiques. Un filon principal : N105E plongeant de 75-80 vers le sud, avec une puissance utile variant de 0,1 à 3 m. Un filon croiseur dirigé nord-ouest/sud-est, fortement incliné vers le sud-ouest et dont la puissance utile est inférieure à celle du filon principal, voire « *nulle* ». Les zones les plus riches, sur le filon principal, correspondaient à des colonnes minéralisées de 5-6 m de hauteur sur 2-3 m d'épaisseur.	**<u>Période d'activité :</u> 1870-1873 et 1899-1916** Une dizaine de plans des travaux, de qualité variable, a été retrouvée. Les travaux peu profonds ont pu être cartographiés assez précisément (plans 11, 12 et 18). Par contre, la cartographie des travaux profonds est plus imprécise car réalisée à partir de plans d'ensemble jugés approximatifs (le plan 16 de 1909 étant celui retenu comme représentatif). Par ailleurs, des coupes des travaux ont également été retrouvées et apportent des informations sur les caractéristiques et la situation des travaux (coupes 13 et 15). Concernant les données informatives, de nombreux documents du Service des Mines ont été retrouvés. Les plus pertinents sont les rapports d'Ingénieur des Mines portant sur la demande en concession ([19], 1909) et la demande de renonciation ([20], 1928). Plusieurs Procès-Verbaux de visite [21] ont été pris en compte ainsi que les documents plus récents comme un récit d'exploration spéléologique [22] et l'étude environnementale du dépôt de la mine [18]. <u>Historique et description des travaux</u> Entre 1870 et 1873, les premières recherches sont réalisées dans le talus immédiatement en amont de la RD485. A cette époque, 2 galeries de 15 et 25 m de longueur (ODJ 11 et 12) et un puits de 7 m de profondeur (ODJ 13) reconnaissent 2 filons parallèles et distants de 50 m. Par la suite, seul le filon « sud » fera l'objet des travaux. Fin 1899, les recherches reprennent avec l'approfondissement du puits jusqu'à 21 m de profondeur. Des galeries de niveau sont percées en direction du filon à 9, 16 et 21 m de profondeur. Ces travaux reconnaissent un filon « *riche et prometteur* » (avec régulièrement 1,5 m de puissance utile). Vers 1901, le puits est abandonné à cause d'un différend avec le propriétaire du terrain. La galerie à 16 m de profondeur est alors poussée vers l'est pour déboucher au jour sur les rives de l'Azergues (ODJ 15). Cette galerie devient le niveau de référence (niveau 0) et l'unique ouvrage d'accès aux travaux. Mise à part entre 1903 et 1906, l'activité de la mine de Ternand est continue. Par le biais d'un bure ouvert à 40 m de l'entrée de la mine (ODJ 15) et foncé jusqu'à 87 m de profondeur, 3 niveaux sont explorés en profondeur, à -25, -52 et -82 m. Un petit niveau à +8 m est également ouvert. Ce dernier débouche au jour (ODJ n°14) immédiatement sous la RD485 pour favoriser la ventilation des travaux. Le niveau -25 est le plus développé (145 m vers l'est et 120 m vers l'ouest par rapport au bure). Seules les parties riches reconnues entre -25 et +8 donneront lieu à des chantiers de dépilage entre 1913 et 1916. La mine est définitivement abandonnée en 1916. Au final, la majorité des travaux exécutés, notamment les explorations à -52 et -82, correspondent à des galeries d'exploration suivant un filon relativement pauvre. En 1928, une visite de l'Ingénieur des Mines [21] relève que, mise à part l'entrée principale (ODJ 15), tous les ouvrages débouchant au jour sont fermés *« par des bouchons de remblais (entrées) ou remblayés (puits)* ». Un bouchon de remblais de 2-3 m est alors recommandé pour obturer la dernière entrée. En 1954, la chute d'une personne dans le bure principal après avoir pénétré dans la mine (ODJ 15) révèle que cet orifice était accessible à cette époque.	<u>Données de terrain :</u> une zone de dépôt (H7) formant une grande plate-forme aménagée est visible ; la galerie de Léger n°1 (ODJ 11). L'entrée est ouverte en bordure de la RD485. L'ensemble des travaux de recherche est accessible (galerie d'une quinzaine de mètres avec 2 recoupes) ; dans le talus très penté de la RD485, le grattage où se situe le puits 13 et l'entrée 12 a été parcouru mais aucune trace des ouvrages n'a été retrouvée ; l'orifice de la galerie 14 (niveau +8) a été retrouvé. Un trou (10x10 cm) dans l'ouvrage de soutènement de la RD485 permet d'observer, derrière la maçonnerie, une galerie vide de faible section (aérage). Cette galerie se trouve à environ 3 m sous la chaussée de la RD485 ; l'entrée de la galerie 15 (niveau 0) a été retrouvée. Un ouvrage maçonné en brique fermé par une grille sommaire est présent. Immédiatement derrière cet ouvrage, un effondrement (désordre 1) du toit de la galerie obstrue le passage. Le niveau 0 reste néanmoins accessible en passant par l'effondrement. La galerie est accessible sur une dizaine de mètres avant d'être partiellement ennoyée. Récemment, des spéléoplongeurs ont exploré une grande partie du niveau 0 ainsi que le niveau +8 (hors d'eau) ; <u>Travaux retenus et cartographiés :</u> La galerie de recherche 11 a été levé au dGPS. Le plan 11 qui la représente est précis et conforme aux observations faites en souterrain. Cette galerie isolée a été cartographié avec une incertitude de 5 m. La galerie de recherche 12 et le puits 13 (non retrouvés, plan 12) ont été repositionnés à partir des observations de terrain (situation du grattage dans le talus) et de la position des travaux plus profonds qui portent sur le même filon. Les entrées 14 et 15, correspondant aux niveaux +8 et 0, ont été levées au dGPS et le plan 18 (cartographie récente des spéléologues) représente précisément ces 2 niveaux. Tous ces travaux sont cartographiés avec une incertitude de 5 m. Étant donné l'éloignement, l'extrémité « est » du niveau 0 à une incertitude de 10 m. Les travaux plus profonds (niveaux -25, -52, -82) sont représentés sur des plans d'ensemble approximatifs et parfois contradictoires (plans 14 et 16). Les travaux ont en priorité été cartographiés sur la base du plan 14 (jugé plus fiable). L'incertitude de position de ces travaux est estimée à 10 m. L'exhaustivité des travaux profonds figurant sur le plan 16 est très incertaine. En conséquence, les travaux profonds (qui ne figurent que sur le plan 16) ont été cartographiés sous la forme d'une zone potentiellement affectée par des travaux miniers. Cette zone comprend l'incertitude de position. Étant donnée la verticalité du filon principal, les travaux sont en grande partie superposés. Ils se développent sur environ 230 m de longueur selon la direction Nord 110°Est et sur 10 à 30 m de largeur (sans prendre en compte les tracés issus du plan 16). Cette emprise est entièrement comprise sur le versant nord de la vallée d'Azergues. La profondeur des travaux varie de quelques mètres à une centaine de mètres. De manière plus détaillé, les travaux peu profonds correspondent : au niveau +8 : les 12 premiers mètres depuis l'entrée 14 se trouvent à environ 3 m sous la chaussée de la RD485. Du fait du versant fortement penté, le reste de ce niveau passe rapidement de 5 à 20 m de profondeur ; les 2 galeries de recherche de 1870-1873 (ODJ 11 et 12) ont un recouvrement de moins de 10 m d'épaisseur ; au niveau 0 : les 12 premiers mètres depuis l'entrée 15 se trouvent à moins de 10 m de profondeur. La profondeur augmente rapidement vers l'est : 12 m sous la RD485, puis 30 m sous la RD31 et 35-40 m à son extrémité « est » ; au niveau 25 : les 75 m de galerie percés à l'ouest de la RD485, sous la plate-forme du dépôt (H7), se situent à environ 25 m de profondeur. Les travaux réalisés à l'est de la RD485 passent rapidement de 30 à 60 m de profondeur (au droit de la RD31) ; les 2 principaux panneaux « dépilés » remontent jusqu'au niveau +8 voire +14. Dans le talus bordant la RD485 (zone ODJ 12 et 13), la tête du panneau « ouest » se situe entre 5 et 10 m de profondeur. La tête du panneau « est » se trouve entre 15 et 25 m de profondeur. Une rapide inspection des niveaux 0 et +8 (à l'ouest de la RD31) a permis de relever : dans cette zone, le filon a été entièrement retiré et un vide de 2 à 5 m de large sur 10 à 15 m de hauteur est présent sur 30-40 m de longueur à partir du puits 13 ; les épontes du filon sont très altérées et des chutes de blocs métriques sont visibles ; des venues d'eau significatives sont présentes (depuis le toit des travaux). Ces observations mettent en évidence une zone dégradée et potentiellement évolutive. Cette zone est proche de la surface, estimée à moins de 10 m sous le talus présent entre les 2 routes et sous la RD31.

Quartier minier	Géologie	Synthèse des données d'archive consultées	Cartographie &Travaux retenus (commentaires/observations terrain, 2018)
Le Gonnin ou Crêt des Bruyères / concession de Ternand	Grès verts plus ou moins indurés avec de la pyrite disséminée sur 4 bancs de 0,1 à 0,5 m d'épaisseur (épaisseur totale de 3 m).	**Période d'activité : 1909-1910** Dans le rapport de demande en concession de 1909 [19] et le plan 19 (associé au rapport), ce quartier correspond à la « tranchée n°4 ». Il est projeté de percer une descenderie et « *2 ouvriers y travaillent* ». Les rapports d'Ingénieur des Mines d'aout 1909 [24] et de mars 1911 [25] mentionnent ce quartier sous le nom de « recherche du Crêt des Bruyères ». Le rapport de 1911 cite *« la recherche du Crêt des Bruyères, commencée le 1er mai 1909, a été arrêtée au début de 1910 sans avoir fait aucune découverte intéressante* ». Aucune information sur l'état d'avancement de la descenderie n'a été retrouvée. D'après la fiche de gite et d'indice [23] issus de la BSS, un amas de pyrite aurait été reconnu par une galerie et une tranchée. A la date du document (1981), la galerie est dite « *éboulée et une petite halde serait encore présente* ».	Données de terrain : Aucune trace probante d'activité minière n'a été retrouvée. Travaux retenus et cartographiés : Aucune zone avérée de travaux, ni même potentiellement affectée par des travaux miniers, n'a été représentée sur ce quartier. Seul l'indice n°7 localise approximativement le quartier à partir de la position indiquée par le point BSS (7-4007) et le calage du plan 19 de 1909 (positions concordantes à une centaine de mètres près).
Gleizé / Sainte-Paule	Couche de 0,6 à 1 m d'épaisseur de charbon de « *mauvaise qualité* » (brillant, friable, teneur élevée en cendres…) encaissée dans des schistes gréseux peu consistants. D'après les plans de travaux, cette couche est dirigée globalement nord/sud et présente un pendage de 35° vers l'est.	**Période d'activité :** Le quartier de Gleizé a été localisé à partir du plan 20 (plan de surface situant approximativement la plupart des quartiers miniers de Sainte-Paule). Quatre plans des travaux ont été retrouvés (plans 21 à 24) mais aucun ne représente d'élément de surface (chemin, bâti, etc.) permettant de localiser avec précision les travaux. Les plans 21, 22 et 23 représentent schématiquement la principale zone de travaux au nord, et le plan 24 révèle, au sud, la dernière zone de travaux réalisée sur ce quartier. Les données relatives à Sainte-Paule proviennent quasi-exclusivement d'un dossier de la DREAL. Les documents pertinents pour le quartier de Gleizé sont des procès-verbaux de visite établit entre 1900 et 1905 ([26], [27], [28], [29]). Historique des travaux Les premiers travaux recensés par le Service des Mines datent de 1900 et ils se poursuivent jusqu'en 1905. Les travaux consistent en une descenderie de 110 m de longueur (pentée à 35° vers l'est) et 5 niveaux de recoupe pour un développement total d'environ 600 m. Lorsque « *l'épaisseur de la couche de charbon le permettait, elle a été entièrement exploitée par tranche montante remblayée (entre les niveaux)* ». En plus de la descenderie, un petit puits d'aérage de 7 m de profondeur relie les travaux souterrains à la surface. Vers 1915, un projet de reprise est relaté avec la réalisation d'une tranchée et d'un puits de recherche de 15,5 m de profondeur. Ces travaux sont dits : « *situés à 550 m au nord du quartier Félines* », soit environ 200 m au sud des travaux de 1900-1905 de Gleizé. Le plan 24, daté de 1914 (ou 1919), représente également des travaux postérieurs à 1905, peut-être dans la même zone que le puits de recherche cité précédemment.	Données de terrain : 2 zones de dépôt en verse (H8) et en plate-forme (H12) ont été retrouvées. Dans une parcelle de vignes, un troisième dépôt (H13) en plaquage (ou terres noires) a été observé ; une dépression d'à peine 2 m de diamètre et de 0,3 m de profondeur (indice 19) est présente dans une pâture (possible lien avec l'orifice de la descenderie 25) ; un petit effondrement (1x1x1,5 m) a été relaté par le vigneron du hameau de Gleizé à proximité de l'emplacement supposé de l'entrée de la descenderie 27. Le désordre aurait été remblayé et plus aucune trace n'est visible aujourd'hui ; un ancien bâtiment minier (BAT2). Travaux retenus et cartographiés : Les situations retenues ont tenu compte d'indications retrouvées dans des rapports, d'observations de terrain (dépôt, photographies anciennes) et de propos relatés par un riverain. La principale zone de travaux (nord) a été cartographié après géoréférencement du plan 23. L'entrée de la descenderie 25 a été positionnée au centre du dépôt H12. L'enveloppe des travaux mesure approximativement 100 m d'est en ouest et 200 m du nord au sud. Étant donné le pendage des travaux par rapport à la pente des terrains en surface, ces derniers passent rapidement de quelques mètres à près de 100 m de profondeur. L'incertitude position de l'enveloppe des travaux est estimée à 30 m (essentiellement liée à l'incertitude de position de l'entrée de la descenderie 27). La zone de travaux sud a été cartographiée après géoréférencement du plan 24. L'entrée des travaux (ODJ 27) a été positionnée à partir du désordre relaté n°2, du dépôt H13 et de l'ancienne photographie aérienne de 1950 qui montre à cet endroit une parcelle très chahutée (possible verse aujourd'hui arasée). Les travaux souterrains consistent en une descenderie de 100 m de longueur et deux recoupes proches de l'entrée. La profondeur passe progressivement de 0 à 40 m. Au final, l'incertitude de position des travaux et de l'ouvrage d'accès est estimée à 20 m. Concernant le puits de recherche foncé en 1915, il n'a pas été cartographié comme tel seule la position d'un indice peu probant est retenue (indice n°13, 550 m au nord du quartier Félines).
Félines / Sainte-Paule	Formation houillère renfermant quelques veines ou amas (très irréguliers) de charbon atteignant au mieux 0,6 à 0,7 m de puissance et le plus souvent 2 petits bancs rapprochés de 0,1 à 0,3 m de puissance (ou amas lenticulaire). Les caractéristiques moyennes donnent une couche dirigée nord-ouest/sud-est avec un pendage de 25° vers le sud-est. Les terrains présents immédiatement au toit et au mur des bancs charbonneux sont décrits comme des « *schistes et grès pourris par les eaux d'infiltrations* ». Quelques passées argileuses sont également possibles.	**Période d'activité :** Les données relatives à Sainte-Paule proviennent quasi-exclusivement d'un dossier de la DREAL. Les documents pertinents pour le quartier de Félines sont des rapports d'Ingénieur des Mines établit entre 1895 et 1952 ([29], [30], [31], [32], [33]). Le quartier de Félines est situé approximativement grâce au plan 20. Une dizaine de plans des travaux ont été retrouvés et 4 d'entre eux ont été utilisés pour la cartographie des travaux (plans 25 à 28 de 1894 à 1919). De nombreuses tentatives de recherche ou d'exploitation, toutes infructueuses, ont été menées sur ce quartier au cours des 18 et 19ième siècles. Les premiers travaux recensés remontent à 1826 (plan 29), 1828 puis de 1838 à 1841. Aucun plan précis de ces travaux n'a été retrouvé, par contre la position de plusieurs « anciens puits » figure sur les plans des travaux postérieurs. En 1894 (plan 28), des recherches reprennent et « *tombent rapidement sur d'anciens travaux souterrains qui engendrent des désordres* » (instabilités et venues d'eau importantes). Les travaux sont abandonnés en 1895. Une nouvelle tentative, peu décrite, a lieu entre 1900 et 1905. La principale période de travaux se déroule de 1912 à 1919. Plusieurs centaines de mètres de galerie sont percés, au travers des anciens travaux, à la recherche de nouveaux amas ou passées charbonneuses. 3 à 400 tonnes de charbon auraient été extraites par an sur cette période. En l'absence de découverte intéressante, ces travaux sont de nouveau abandonnés. En 1947, une ultime tentative est menée. Une ancienne descenderie (ODJ 18) est alors désobstruée sur 35 m de longueur mais le quartier est définitivement abandonné en 1949. En 1952, cette descenderie (ODJ 18) est signalée encore ouverte et elle est dite *« dangereuse (risque de chute) »*. Le Service des Mines demande le traitement de la tête de l'ouvrage [32].	Données de terrain : 2 zones de dépôts sont présentes (H9 et 10) sous la forme de monticules ; des traces éparses de dépôts, en plaquage, ont été observés sur un talus très penté et difficilement accessible (H11) ; une dépression en eau (indice 15) à l'emplacement supposé des entrées de galerie 16 et 17 ; une petite tranchée (indice 9) entre les entrées 16/17 et la position supposée de la cheminée d'aérage (ODJ 21) a été observée ; une excavation muraillée (indice 24) pouvant correspondre à un ancien bassin ou à l'orifice du puits 23 ; l'entrée de la descenderie 18 « éboulée » avec la tranchée d'accès encore visible. Travaux retenus et cartographiés : A partir des repères de surface figurant sur le plan 26 et des observations faites sur le terrain, les plans de travaux 25 à 28 ont pu être géoréférencés. La qualité de ces plans est relativement mauvaise. Au final, l'enveloppe des travaux cartographiée s'étend sur près de 200 m de longueur et 100 m de largeur. Les travaux s'approfondissent progressivement du nord au sud, de 0 à 35 m de profondeur. L'incertitude de position de cette enveloppe varie de 5 m (au niveau des entrées 16, 17 et 18) à 20 m (en s'éloignant vers le sud). Autour des « anciens puits » (ODJ 20, 22, 23 et 24) figurant sur les plans 26 et 27, des zones potentiellement affectées par des travaux souterrains ont été cartographiées afin de tenir compte de la présence probable de travaux souterrains. Un rayon forfaitaire de 30 m a été retenu autour de ces puits (incluant l'incertitude de position des puits et celle des travaux).

Quartier minier	Géologie	Synthèse des données d'archive consultées	Cartographie &Travaux retenus (commentaires/observations terrain, 2018)
Vallon de Mussy / Sainte-Paule *petite vallée entre les hameaux de Marduel et de Mussy (empruntée par RD607)*	La formation houillère est composée d'argiles, de grès altérés, de schistes gréseux dans lesquels sont intercalés quelques veinules ou amas de charbon (très irrégulier). Le pendage est variable mais il tend à s'infléchir vers l'est (subhorizontal).	**Période d'activité :** Seul le plan 20 de 1902 (plan de surface à l'échelle de la commune) localise approximativement deux puits de recherche, l'un immédiatement à l'est du hameau du Marduel, l'autre à proximité du hameau de Mussy. Aucun autre plan n'a été retrouvé. Davantage d'informations sur les recherches du vallon de Mussy sont relatées dans les rapports d'Ingénieur des Mines : 1777 [34], en 1895/1897 [30] et en 1916/1917 [31]. De 1777 à 1786 [34], des recherches « par sondes » sont réalisées « *en différents points des montagnes de Sainte-Paule* », notamment « *à proximité de la route reliant Oingt à Ste-Paule* » (correspondant à la RD607 qui relie les hameaux de Mussy et Marduel). Entre 1895 et 1898, de nouvelles recherches sont menées dans le vallon de Mussy et « *près de la route de Mussy à Sainte-Paule* », à proximité d'anciens travaux. Au moins deux puits semblent foncés (20 à 40 m de profondeur) et des reconnaissances par galerie depuis ces ouvrages ont pu être réalisées sur quelques dizaines de mètres maximum. En 1916, une recherche par tranchées est relatée à 50 ou 200 m au nord d'un ancien puits. En novembre 1916, un nouveau puits est attaqué près de la route de Mussy à Sainte-Paule et abandonné en mai 1898 à 38 m de profondeur. En 1917, ce puits est décrit comme « *près du hameau de Marduel* ».	Données de terrain : à mi-chemin entre les hameaux de Marduel et Mussy, le long de la RD607, une parcelle présente une plate-forme de dépôts (indice 12). D'après plusieurs habitants de Sainte-Paule, plusieurs « trous de mine » (au moins 3) étaient présents sur cette parcelle. Il y a quelques années, ces trous (et plus largement la parcelle) ont été comblés par des remblais provenant de la construction de nouvelles habitations au Marduel. Aujourd'hui, plus aucune trace de « trous » ou de dépôts charbonneux n'est visible ; environ 50 m au sud de la précédente parcelle, un petit monticule de dépôt (indice 20) est présent au milieu d'une pâture. L'origine minière n'est pas avérée. D'après un habitant, « *ce monticule est présent depuis au moins 50 ans* » ; d'après un habitant, deux autres dépôts (indices 25 et 26) étaient présents dans le passé mais le matériau a été progressivement réutilisé et plus aucune trace n'est aujourd'hui visible. Travaux retenus et cartographiés : Des recherches semblent avoir été exécutées en différents points du vallon de Mussy, entre les hameaux de Marduel et de Mussy. Le plan 20 positionne des puits de recherche à proximité immédiate de ces deux hameaux. En l'absence d'indice probant observé sur le terrain et étant donné l'incertitude de position lié au plan (>50m), ces deux ouvrages n'ont pas été cartographiés comme tels mais ils sont représentés sous la forme d'indices miniers (indices 10 et 11). Entre les deux hameaux, la parcelle où se trouvait des « trous » est cartographiée sous la forme d'un indice minier (indice 12). Cette zone concorde avec plusieurs situations faites dans les rapports d'Ingénieur des Mines (« en bordure de route »). Sur la base des informations relatées et en l'absence de plans de travaux, cette parcelle a été cartographiée sous la forme d'une zone potentiellement affectée par des travaux miniers. De même, le petit monticule de dépôts (indice 20) pourrait correspondre aux produits de creusement d'un puits de recherche. En conséquence, une zone potentiellement affectée par des travaux miniers a été cartographiée dans un rayon de 15 m autour de ce monticule.

Tableau 2 : Liste et description des quartiers miniers recensés

4.4 Méthodes d'exploitation

- **Quartiers de Sainte-Paule (charbon)**

Sur les quartiers de Gleizé, Félines et du Vallon de Mussy, tous les travaux sont réalisés au pic. Une partie des travaux consistent en des galeries d'exploration de dimensions classiques (approximativement 2 x 2 m). Étant donné la nature des terrains encaissants (alternance de schistes houillers, argiles, calcaires), des travaux de confortements (par des cadres en bois) et un entretien régulier étaient obligatoires pour contrer la forte poussée des terrains. Lorsqu'une couche ou une lentille de charbon était recoupée, des travaux d'exploitation ont été effectués, très probablement par des méthodes totales, par taille ou dépilage (Tableau 3 et Figure 11). Ces derniers semblent avoir généralement été remblayés (en l'absence de remblais, les travaux avaient tendance à « *s'ébouler très rapidement* »).

Certaines périodes d'activité minière n'ont consisté qu'en des travaux d'entretien des puits et des principales galeries d'accès au charbon. Sur ces mêmes périodes, des extractions désordonnées de type « glanages » sont également rapportées.

Les informations retrouvées sur les quartiers de Sainte-Paule sont exposées plus en détails dans le Tableau 3 suivant :

Quartiers	Nature des travaux réalisés	Profondeur des travaux
Gleizé	Les travaux consistent en une descenderie poussée au pendage dans la couche charbonneuse et en plusieurs galeries d'exploration de part et d'autre, en direction. Lorsque l'épaisseur de la couche le permettait, des panneaux ont été entièrement exploités entre les niveaux. Ces travaux sont dits systématiquement remblayés (voir commentaires plan 23 de 1903, Figure 11).	Les travaux se situent entre 0 et 100 m de profondeur.
Félines	Les travaux sont plus irréguliers que sur le quartier de Gleizé. Ils ont consisté en des galeries d'exploration poussées dans un horizon charbonneux ou en travers-bancs à la recherche d'amas ou de nouveaux niveaux charbonneux. Seuls quelques petits amas lenticulaires ont été retrouvés et exploités a priori par des méthodes totales et remblayées et/ou éboulées. La localisation et l'extension de ces zones n'est pas connue. Par contre, la puissance n'a jamais excédé 1 m.	Les travaux se situent entre 0 et 40 m de profondeur.
Vallon de Mussy	Puits et galeries d'exploration à la recherche d'horizons charbonneux. La localisation de ces puits et galeries n'est pas connue. Les passées charbonneuses rencontrées n'ont jamais excédé 1 m de puissance et leur extension a toujours été très limitée.	Non connue.

Tableau 3 : Détails des travaux (méthodes et configurations) réalisés sur les quartiers de Sainte-Paule (charbon)

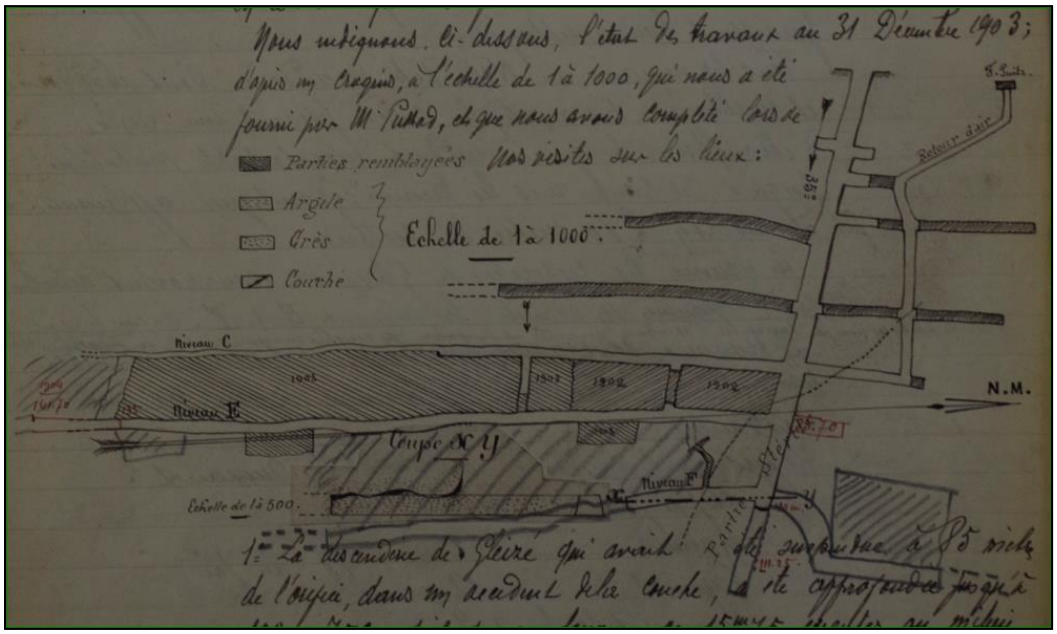


Figure 11 : Vue en plan des parties exploitées et remblayées sur le quartier de Gleizé (extrait plan 23, 1903)

- **Quartiers recherche / exploitation de métaux**

La grande majorité de ces travaux consiste en des galeries d'exploration de dimensions classiques (approximativement 2 x 2 m). Étant donnée la nature résistante des roches encaissantes (roches magmatiques et/ou métamorphiques), l'étayage systématique n'était pas nécessaire, seules les zones à proximité de la surface, sur des passages très fracturés ou présentant des poches d'argiles (salbandes) ont été localement confortées. Ces galeries n'ont a priori jamais été remblayées. Les ouvrages encore accessibles ont permis d'observer des galeries « vides » et relativement en bon état (mise à part à proximité des entrées).

Localement, les parties les plus riches ont fait l'objet de travaux d'exploitation, menés par tranches montantes généralement remblayées[1]. Les rares informations retrouvées sur les méthodes d'exploitation sont présentées dans le Tableau 4 suivant.

Sur ces quartiers, la plupart des travaux sont menés au pic. À partir de la fin du 19ième siècle, l'emploi d'explosif est mentionné sur le quartier de Ternand et des marteaux perforateurs sont utilisés au début du 20ième siècle sur le quartier de Berchoux.

1

1. Les parties sommitales de ces chantiers, notamment à Ternand, ont été observées vides (novembre 2018).

Quartiers	Nature des travaux réalisés	Profondeur des travaux
Ternand	La majorité des travaux consiste en des galeries isolées explorant un ou deux filons. Des travaux d'exploitation ont été réalisés dans des zones où le filon était riche. Les plus importantes parties exploitées portaient sur des colonnes minéralisées de 2 à 3 m de largeur sur 5 à 6 m de hauteur. Deux zones de travaux ou « panneaux » de 15 à 20 m de longueur et 30 à 35 m de hauteur sont répertoriés ainsi qu'un petit panneau de quelques mètres d'extension. La méthode précise d'exploitation n'a pas été retrouvées dans les documents d'archive, seules les mentions « *dépilages* » ou « *panneaux dépilés* » sont faites [20], [21]. De même, le remblayage des travaux n'est pas précisé. Néanmoins, les parties supérieures des 2 grands panneaux (niveaux 0 et +8) ont été observés en partie vides par les spéléologues (plan/coupe 18). La coupe des travaux (coupe n°15 de 1928, Figure 12) représente les zones dites « dépilées ».	Les galeries d'exploration se situent entre 0 et 110 m de profondeur. La limite supérieure des deux principaux panneaux « dépilés » se trouvent entre 5 et 25 m de profondeur. Le panneau exploité au niveau -52 se situe à environ 80 m de profondeur.
Berchoux	En majorité, il s'agit de galeries isolées (d'exploration) poussées dans toutes les directions et sur 5 étages. Deux lentilles subverticales ont été exploitées localement. L'exploitation de la principale lentille est décrite dans le mémoire des travaux de 1931 [6] comme il suit : « *l'exploitation de la lentille 2 se fit par tranches horizontales montantes avec remblais complets* ». La coupe des travaux (coupe n°7 de 1963, Figure 13) illustre en partie les méthodes de recherche et d'exploitation.	Les galeries d'exploration se situent entre 5 et 100 m de profondeur. Les 2 lentilles se trouvent entre 10 et 30 m de profondeur.
Le Bout du Monde	La majorité des travaux consiste en des galeries isolées explorant un ou deux filons. Les parties les plus riches ont pu faire l'objet de travaux d'exploitation. Étant donnée la puissance utile (10 à 25 cm), la largeur des travaux est identique à celle des galeries d'exploration. En revanche, la hauteur exploitée est non connue et estimée entre 2 et 10 m maximum.	Les galeries d'exploration se situent entre 0 et 70 m de profondeur. Les zones de travaux sont supposées entre 0 et 50 m de profondeur.
La Creuse	Seules des galeries isolées ont été réalisées.	Tous les travaux se situent entre 0 et 30 m de profondeur.
Pierreplate	Uniquement galerie isolée.	Travaux situés à moins de 10 m de profondeur.

Tableau 4 : Détails des travaux (méthodes et configurations) réalisés sur les quartiers de recherche ou d'exploitation de métaux

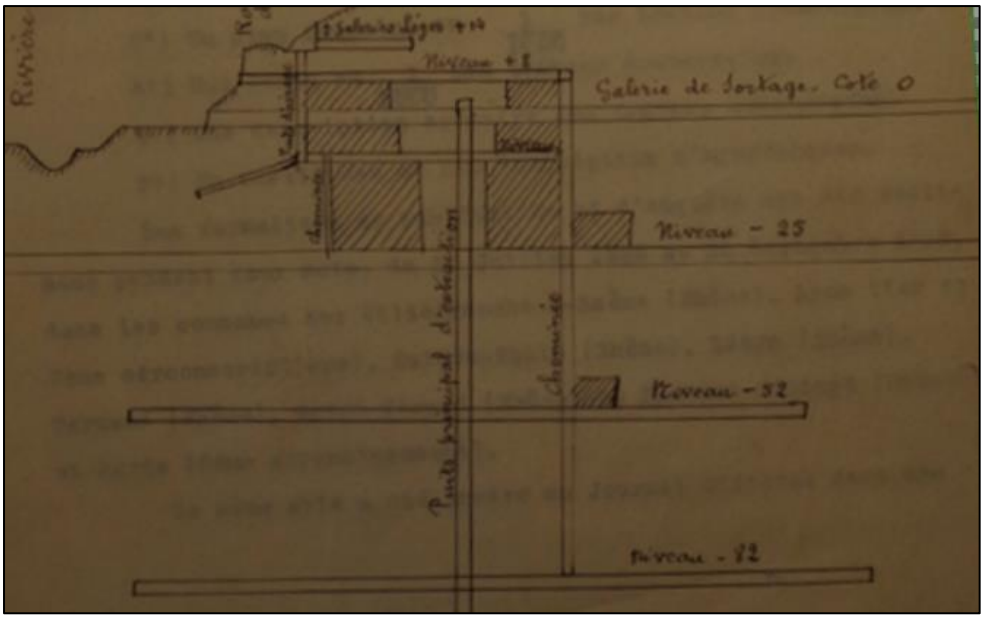


Figure 12 : Vue en coupe des zones exploitées sur le quartier de Ternand (extrait coupe 15, 1928)

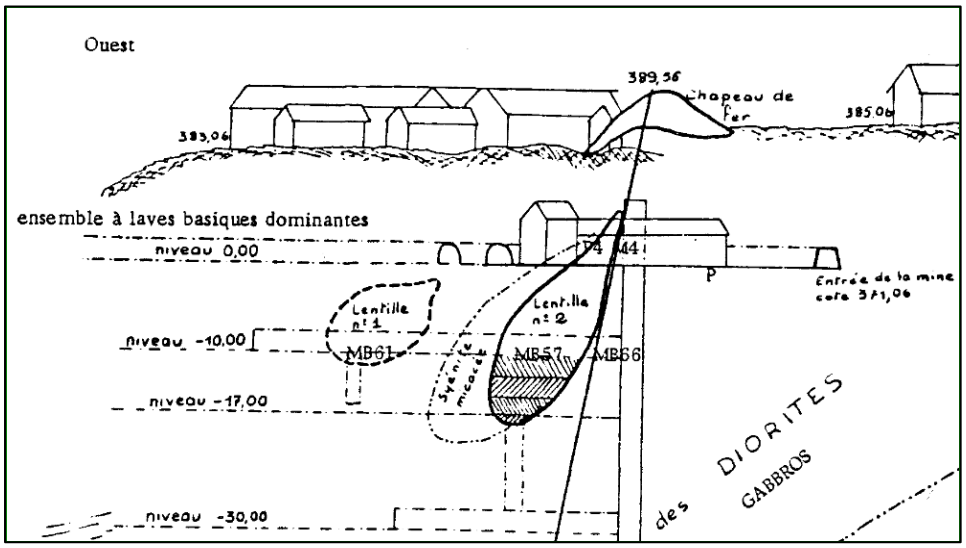


Figure 13 : Vue en coupe des 2 lentilles exploitées sur le quartier de Berchoux (extrait coupe 7, 1963)

4.5 Hydrologie minière, ennoyage et résurgence

L'inspection des sites a permis d'observer des résurgences minières et/ou d'estimer l'état d'ennoyage des travaux. Les documents d'archive consultés ont également apporté des informations sur l'épuisement des eaux dans les travaux et les volumes pompés (Tableau 5 suivant).

Quartiers	Observations de terrain	Données d'archive	État d'ennoyage retenu
Ternand	Niveau 0 partiellement ennoyé (galerie 15)	Pompage relaté (1200 l / 24h en 1900)	Tous les étages inférieurs au niveau 0 sont ennoyés et les travaux supérieurs sont hors d'eau.
Félines	Aucune observation	Descenderie 18 ennoyée à 15 m de l'orifice (1952). Phénomènes de « *vidange* » après recoupe de vieux travaux (1896). Épuisement (manège + cheval) forçant un arrêt de travaux (hiver 1896) Épuisement de 4m^3 / 24h par pompe à bras (1914).	Travaux en grande partie ennoyés. Seuls les travaux proches de la surface sont a priori hors d'eau.
Gleizé	Aucune observation	Épuisement par pompe relaté en 1901	Travaux en grande partie ennoyés. Seuls les travaux proches de la surface sont a priori hors d'eau.
Vallon de Mussy	Aucune observation	Lors du fonçage d'un puits de recherche, épuisement de 500 l / 24h (1896)	Travaux en grande partie ennoyés. Seuls les travaux proches de la surface sont a priori hors d'eau.
Berchoux	Bure d'accès aux niveaux inférieurs rempli d'eau et petite résurgence à l'entrée 10	Pompage de 6 m^3 / 24h	Tous les étages inférieurs sont ennoyés, seul le niveau 0 (galerie 10) est entièrement hors d'eau.
La Creuse	Entrée galerie 7 partiellement ennoyée	Aucune information retrouvée	Les travaux de la galerie 7 sont a priori en grande partie ennoyés. De même pour les travaux du puits 9. La galerie 8 étant plus haute sur le versant, il est possible qu'elle soit hors d'eau.
Les Espagnes	Aucune observation	Aucune information retrouvée	Probable ennoyage partiel des travaux.
Le Bout du Monde	Entrée galerie 1 avec résurgence. Entrée galerie 2 et fond du puits 3 « sec ».	Aucune information retrouvée.	Probable ennoyage partiel des travaux.
Pierre plate	Galerie 27 entièrement sèche	Aucune information retrouvée	Hors d'eau
Gonnin	Aucune observation	Aucune information retrouvée	Inconnu
Létra	Aucune observation	Aucune information retrouvée	Inconnu

Tableau 5 : État d'ennoyage des quartiers répertoriés

Remarque : plusieurs venues d'eau ont été observées en novembre 2018 dans les chantiers subverticaux les moins profonds de Ternand

4.6 Aérage, gaz de mine et feux souterrain

Aucun incident ou accident (asphyxie) lié aux conditions d'aérage des travaux souterrains n'a été retrouvé dans les documents d'archive consultés.

Sur les quartiers de Ternand, Félines et Gleizé :

- des ouvrages débouchant au jour uniquement dédiés à l'aérage des travaux souterrains sont présents ;
- l'emploi de ventilateurs est également relaté sur les 2 quartiers de Ternand et Berchoux (les plus étendus).

Sur les trois quartiers de Sainte-Paule (charbon)

- aucun échauffement souterrain ou en surface n'a été rapporté ;
- il n'y avait pas de consigne particulière relative aux lampes ou à l'emploi d'explosifs.

4.7 Production(s)

La plupart des travaux répertoriés correspondent à des recherches peu fructueuses ou à des travaux d'exploitation localisés et peu étendus. En conséquence, la quantité des divers minerais extraits n'est pas précisément connue mais est priori faible.

A partir des données de production ponctuelle retrouvées dans les archives, la production globale des principaux quartiers a pu être estimée (Tableau 6 suivant).

Quartier / Site miniers	Tonnage de minerai extrait
Quartier Ternand	5000 à 10000 tonnes
Quartier Berchoux	3800 tonnes
Quartier La Creuse	50 à 100 tonnes
Quartier Les Espagnes	50 à 100 tonnes
Site Sainte-Paule (quartiers Gleizé, Félines et Vallon de Mussy	500 à 1000 tonnes

Tableau 6 : Données de productions estimées

Remarque :

- Sur les quartiers de Pierreplate, Gonnin et Létra, étant donné le caractère limité des travaux de recherche, aucune production significative n'a pu avoir lieu.
- Sur le quartier du Bout du Monde, aucune donnée de production n'a été retrouvée.
- Sur le quartier de Ternand, seule la mention de « 2000 tonnes de minerai sur le carreau de la mine » en 1908 a été retrouvée, [20], [21]. A cette époque, les deux principaux panneaux n'étaient pas encore exploités, d'où le tonnage total estimé au tableau précédent entre 5000 et 10000 tonnes.

4.8 Ouvrages débouchant au jour (ODJ)

Au total, 27 ouvrages débouchant au jour ont été répertoriés : 11 puits et 16 entrées de galerie (dont 3 descenderies). La répartition des ouvrages (retrouvés ou non) sur les différents sites étudiés est détaillée dans le Tableau 7 suivant.

Sites / Quartiers miniers	Vus sur le terrain	Non retrouvés	Total
Ternand	3 (3 entrées)	2 (1 entrée,1 puits)	5
Sainte-Paule / Gleizé	0	3 (2 entrée,1 puits)	3
Sainte-Paule / Félines	1 (1 entrée)	8 (3 entrées,5 puits)	9
Vallon de Mussy	0	0	0
Lettra	0	0	0
Les Espagnes	0	0	0
Berchoux	1 (1 entrée)	0	1
La Creuse	1 (1 entrée)	2 (1 entrée,1 puits)	3
Le Bout du Monde	4 (2 entrées,2 puits)	0	4
Pierreplate	2 (1 entrée,1 puits)	0	2
Total	12	15	27

Tableau 7 : Répartition des ouvrages par sites ou quartiers miniers

Les recherches sur le terrain ont permis de retrouver 9 entrées et 3 puits. Ces ouvrages sont dits « matérialisés ». L'état observé de ces ouvrages est décrit dans le Tableau 8 suivant. Les ouvrages répertoriés et non retrouvés sur le terrain sont dits « localisés ».

L'incertitude de position des 27 ouvrages répertoriés varie de 5 m (lorsqu'ils sont matérialisés et levés au dGPS) à 30 m (pour ceux localisés sur les plans les moins précis).

Remarques : des ouvrages sont connus mais non cartographiés car leur localisation est trop incertaine. La situation approximative de ces ouvrages est néanmoins indiquée sur la carte informative par le positionnement d'un indice minier. Ils proviennent de plans d'archive (incertitude de position supérieure à 50 m) ou d'informations mentionnées dans des rapports d'archive (non localisables), voir paragraphe 4.11.2 suivant).

Ouvrage (numéro ODJ) / Quartier minier	Commentaires
Entrée cote +0 (1) Bout du Monde	Entrée ouverte et accessible sur 5 m puis murée avec une porte grillagée. Le mur engendre une retenue des eaux résurgentes et forme une réserve dans la galerie. Aucun confortement, aucune chute de bloc visible, galerie en bon état (roche encaissante solide).
Entrée cote +9 (2) Bout du Monde	Entrée ouverte et accessible sur 5 m puis murée avec une porte grillagée. Pas d'eau. Aucun confortement, aucune chute de bloc visible, galerie en bon état (roche encaissante solide).
Ancien puits (3) Bout du Monde	Puits carré de 3 m de côté, ouvert sans aucune protection ou indication du danger de chute. Environ 6 m de profondeur. Aucun muraillement, bon état apparent (roche encaissante solide).
Ancien puits (4) Bout du Monde	Dépression de 5 m de diamètre remplie de pierre et ancienne tranchée d'accès encore visible.
Entrée Champtouly (5) Pierreplate	Entrée ouverte et galerie de recherche d'environ 30 m de longueur entièrement accessible. Aucun confortement, ouvrage en bon état et hors d'eau.
Puits Champtouly (6) Pierreplate	Puits ouvert et vide de 7 m de profondeur et 0,5 m de diamètre. L'ouvrage relie la surface à la galerie 5. Colonne non confortée, probables instabilités (écailles/blocs). En surface, orifice non signalé.
Galerie cote +0 (7) La Creuse	Entrée ouverte et accessible. Orifice avec à peine 1 m de hauteur et galerie immédiatement ennoyée (environ 0,5 m hors d'eau). Aucun confortement visible, galerie en bon état (roche encaissante solide).
Entrée Berchoux (10) Berchoux	Entrée ouverte et accessible (propriété privée). Ouvrage maçonné sur 5 m puis passage dégradé (montée de voute + instabilités marquées). Au-delà, galerie en bon état (roche encaissante solide) et hors d'eau.
Galerie Léger 1 (11) Ternand	Entrée ouverte et accessible dans le talus de la RD485. Aucun confortement, orifice avec à peine 1 m d'ouverte et dégradé (décollements d'écailles au toit). Passé les 3 premiers mètres, la galerie est en bon état (roche encaissante solide). Pas d'eau.
Galerie niveau +8 (14) Ternand	Entrée obturée par le mur de soutènement de la RD485 (talus aval). Un « trou » dans l'ouvrage (15x15cm) permet d'observer la galerie vide (de faible section). Galerie passant à environ 3 m sous la route.
Galerie +0 (15) Ternand	Orifice de l'entrée maçonné (voute en briques) et fermé par une grille. Immédiatement derrière l'ouvrage, un effondrement obstrue la galerie. L'accès à la galerie est possible par l'effondrement (chute de toit). La galerie est accessible sur une dizaine de mètres avant d'être en partie ennoyée. Passé les premiers très dégradés, la galerie est en bon état (roche encaissante solide).
Descenderie (18) Félines	Entrée éboulée et inaccessible. Tranchée d'accès encore visible.

Tableau 8 : État des ouvrages matérialisés

4.8.1 Caractéristiques des ouvrages débouchant au jour

- **Ouvrages concernant les gites métalliques**

Les entrées de galeries mesurent en moyenne 2 m de hauteur et 2 m de largeur en pied (mise à part la galerie d'aérage – ODJ 8 dont la section est estimée à 1 m^2). Leur forme est légèrement voutée au toit. Aucun confortement (maçonnerie ou boisage) n'a été observé aux parements.

Mis à part sur les premiers mètres (0-5 m de longueur), les galeries apparaissent en bon état.

Les puits sont peu profonds, 4/5 mesurent 2,5 à 20 m de profondeur et le dernier n'excède a priori pas 30 m. Leurs dimensions (diamètre/largeur/longueur) sont estimées entre 2 et 3 m (section moyenne de 4,5 m^2). Les deux puits retrouvés vides (ODJ 4 et 6) ne présentent aucun cuvelage ou autres confortements. Étant donnée la nature des terrains encaissants, il en est probablement de même pour les quatre autres puits.

Remarque : le puits 6 est un ouvrage d'aérage avec un diamètre limité (0,5 m).

- **Ouvrages concernant les recherches de charbon (Sainte-Paule)** 2

Les entrées de galeries font en moyenne 2 m de hauteur et 2 m de largeur. Étant donnée la nature des terrains encaissants, elles étaient systématiquement étayées en bois et elles nécessitaient un entretien régulier. En outre, ces ouvrages sont régulièrement notés comme éboulés.

Les puits étaient creusés soit pour l'aérage des travaux, soit pour des recherches en profondeur. Dans le cas de puits d'aérage, la profondeur est limitée (< 10 m) tout comme la section de l'ouvrage (< 3 m^2). Dans le cas des puits de recherche, les profondeurs sont largement supérieures, allant globalement de 30-40 m à 100-110 m de profondeur. Quel que soit le rôle des puits, leur colonne était systématiquement renforcée, le plus souvent en bois, pour résister à la poussée des terrains qui est régulièrement décrite comme « *forte* ».

4.8.2 Informations sur les traitements des ODJ

Aucun document d'archive décrivant de manière détaillée des travaux de mise en sécurité réalisés après l'abandon des ouvrages n'a été retrouvé. Néanmoins, des indications sur l'état des ouvrages sont mentionnés dans certains rapports du Service des Mines, notamment ceux réalisés dans le cadre des demandes en renonciation. Les observations de terrain ont également apporté des informations complémentaires (Tableau 8). Le Tableau 9 présente les traitements connus (ou non) pour chacun des ouvrages répertoriés.

[2] *En l'absence d'ouvrage observé ouvert, ces caractéristiques sont uniquement basées sur des informations retrouvées dans des documents d'archive.*

N°ODJ	Traitement connu	Source
1	Entrée fermée par une grille.	Terrain
2	Entrée fermée par une grille.	Terrain
3	Aucun – Puits ouvert et vide	Terrain
4	Puits a priori remblayé (dépression remplie d'un tas de pierre)	Terrain
5	Aucun – Entrée ouverte	Terrain
6	Aucun – Puits ouvert et vide	Terrain
7	Aucun – Entrée ouverte	Terrain
8	Entrée éboulée ou bouchée par des remblais (rapport renonciation-1931)	[5]
9	Puits remblayé (rapport renonciation-1931)	[5]
10	Aucun – Entrée ouverte	Terrain
11	Aucun – Entrée ouverte	Terrain
12	Entrée « fermée par un bouchon de remblais » - rapport renonciation-1928	[21]
13	Puits dit « remblayé sur toute sa hauteur » - rapport renonciation-1928 et observé plein d'eau au niveau 0	[21] + Terrain
14	Entrée obturée par le mur de soutènement de la RD485	Terrain
15	Entrée fermée par une grille, galerie accessible par un effondrement	Terrain
18	Entrée effondrée	Terrain
16, 17, 19 à 27	Aucune information (ouvrages non retrouvés)	Sans objet

Tableau 9 : État des connaissances sur le traitement des ODJ

L'analyse des traitements connus sur les ouvrages permet de préciser que :

- 7/27 ouvrages sont aujourd'hui ouverts et accessibles (50 % des ouvrages retrouvés) ;
- 9/27 ouvrages ont fait l'objet de travaux ou d'aménagement les rendant inaccessibles ;
- sur 15 ouvrages non retrouvés, 4 ont fait l'objet de traitement mentionnés dans les archives. Aucune information n'est connue pour les autres ;
- sur les 15 ouvrages concernant des travaux d'exploitation ou de recherche de métaux, 8 ont été observés vides ou partiellement ennoyés. Cet état est en partie dû à la nature des terrains encaissants (roche granitique) ;
- sur les 12 ouvrages des quartiers de Sainte-Paule, seul un a été retrouvé « effondré ». A l'inverse des sites de recherche de métaux, la nature des terrains (argiles, schistes/grès houiller) est plus propice à l'éboulement des ouvrages ;

4.9 Désordres miniers (fond et surface)

- **En surface**

L'inspection faite sur le terrain n'a permis d'observer qu'un seul désordre minier (D1, Figure 14). Il s'agit de l'effondrement du toit de la galerie principale (ODJ 15) du quartier de Ternand. Le « trou » formé en surface a un diamètre de 4 m et une profondeur de 3 m. Les bords sont abrupts et la présence d'une échelle permet d'accéder au niveau 0 des travaux de Ternand.

Un second désordre a été répertorié sans avoir été observé (D2). Il s'agit d'un petit effondrement localisé relaté par un vigneron de Gleizé. Les propos rapportés décrivent un « *trou d'à peine 1 m de diamètre apparu à la suite de fortes pluies* ». Le désordre a été remblayé, plus aucune trace n'est visible aujourd'hui. La situation de ce désordre semble correspondre avec une entrée de galerie (ODJ 27) ou aux premiers travaux peu profonds qu'elle dessert.

Dans les documents d'archive consultés, aucun mouvement de terrain en surface en lien avec des travaux souterrains n'a été répertorié.

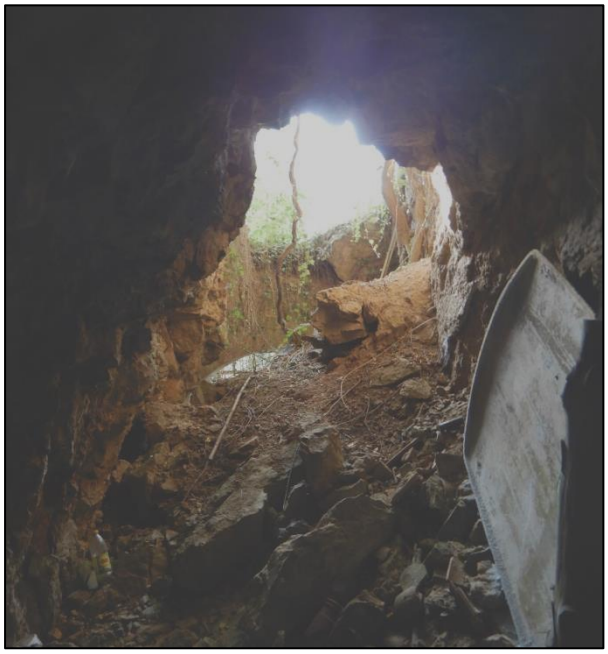


Figure 14 : Vue de l'effondrement à l'entrée de la galerie ODJ n°15 (D1, quartier de Ternand)

- **En souterrain**

Sur les travaux accessibles et « rapidement » visités (Ternand, Berchoux, Bout du Monde), aucune zone effondrée n'a été observée. Par contre, deux montées de voute ont été relevées sur les premiers mètres, l'une a conduit à un effondrement au jour (Ternand, voir D1 ci-dessus), l'autre ne débouche pas encore au jour mais le désordre parait évolutif (ODJ 10, quartier de Berchoux, voir photo Figure 15).

Figure 15 : Aperçus photos de la montée de voute et situation en surface (ODJ 10, quartier de Berchoux)

Dans les documents d'archive consultés, aucun éboulement n'est relevé sur les quartiers de recherche ou d'exploitation de métaux.

A l'inverse, tous les travaux menés sur les quartiers de Sainte-Paule (charbon) ont été confrontés à « *une forte poussée des terrains qui engendrait des éboulements* ». Les entrées étaient particulièrement concernées :

- des phénomènes de « soufflage » du sol sont relatés ;
- lors des travaux de reprise, des travaux de « désobstruction » sont mentionnés et laissent supposer que ces galeries s'éboulaient rapidement en l'absence d'entretien.
- Peu d'accidents de mineurs sont rapportés par le Services des Mines, il s'agit de :
- *« chute de personnes dans puits » ;*
- *« blessure consécutive à l'emploi d'explosif » ;*
- *« blessure consécutive à un décollement d'écailles ».*

4.10 Dépôts

Les travaux miniers étudiés ont engendré des dépôts épars. Il s'agit le plus souvent de verses ou de monticules relativement peu volumineux, à l'exception des dépôts principaux de Ternand et de Berchoux (voir ci-après). La majorité de ces dépôts sont aujourd'hui partiellement ou totalement végétalisés. En conséquence, l'observation des limites entre dépôts et terrain naturel est souvent difficile et les emprises cartographiées, tout comme les dimensions retenues, présentent une incertitude liée à l'estimation de terrain.

Au total, 14 zones de dépôt ont été répertoriées. Elles figurent toutes sur la carte informative en annexe 4 et les caractéristiques des dépôts sont détaillées au tableau suivant.

De manière synthétique, l'analyse des caractéristiques générales révèle que :

- le plus important dépôt (H14) se trouve sur le quartier de Ternand, qui a connu une longue période de travaux de recherche et une phase d'exploitation. Ce dépôt forme une grande plate-forme de près de 8500 m2, [18], située entre la rivière Azergues et la route départementale 485 ;
- le dépôt de Berchoux (H7) est également remarquable par son volume mais plus encore par se nature mêlée de stériles de creusement et de résidus de traitement physique (broyage et calibrage), Figure 16 et photos en annexe.

  NB : les cartes postales anciennes Figure 16 présentent un second dépôt de Berchoux, H7b, (en face du premier de l'autre côté de la route) ; aujourd'hui ce monticule a disparu (il est conservé pour mémoire).
- tous les autres dépôts sont significativement plus petits, avec des emprises allant de 100 m2 à 2500 m2 et des volumes de quelques centaines à milliers de mètres cubes ;
- visuellement, quatre types de matériau (et granulométrie) sont visibles :
  - les dépôts des quartiers de Félines et Gleizé (H8 à 13) sont composés de schistes houillers avec une teinte noirâtre et la taille des éléments est globalement centimétrique ;
  - les dépôts du quartier du Bout du Monde (H1, 2 et 3) sont grossiers avec des éléments de tailles centimétrique à décimétrique ;

- les dépôts des quartiers de Ternand et Berchoux sont les plus fins observés (éléments de taille millimétrique à centimétrique). Cet état semble lié au traitement du minerai sur place et à la présence de laverie ;
- les autres dépôts observés sont essentiellement composés de produits de creusement (roche type granite) avec des éléments de taille centimétrique.

- les pentes ne sont pas importantes mais peuvent localement atteindre 30° à 40° (notamment sur la verse H7 du quartier de Berchoux) ;
- aucun mouvement de terrain, de type glissement, n'a été observé ;
- aucun échauffement sur les dépôts des quartiers de Félines et Gleizé (charbon) n'a été observé ;

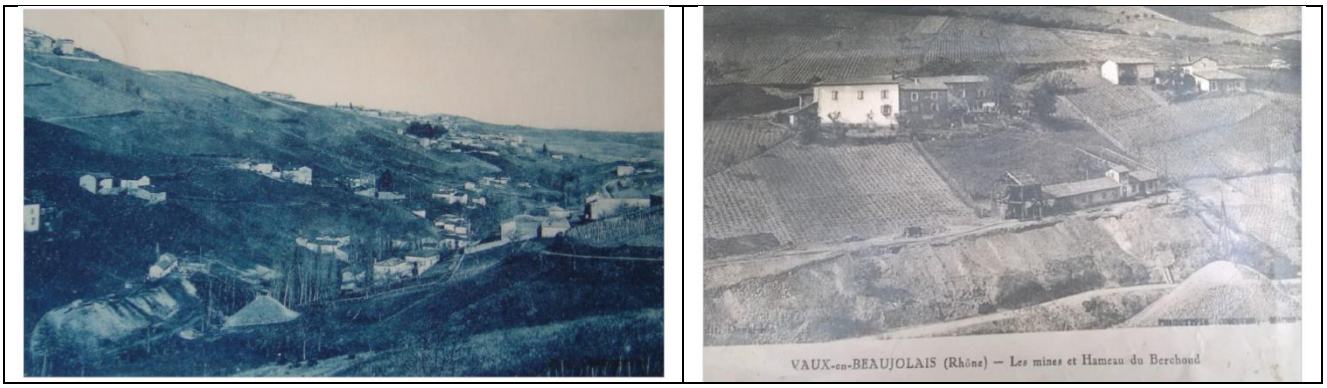


Figure 16 : Vue du carreau et du dépôt de Berchoux du temps de l'exploitation minière (non daté), [18] et rapport Géodéris S 2018/046DE-18RHA24030

Vue de la verse H1 (Bout du Monde)

Vue du monticule de dépôt H9 (Félines)

Figure 17 : Aperçus photographiques de dépôts miniers observés

n°	nom	Type	Composition	Granulométrie	Surface m^2	Hauteur m	Volume m^3	Pente talus (°)	Végétalisation	Commentaire
H1	Verse entrée ODJ 2	Verse	Inconnue	grossière	690	5	1000	35°	Partielle	Décharge sauvage en amont (verse depuis chemin)
H10	Dépôt Féline	Monticule	Schistes houiller	moyenne	1500	3	1000	<30°	Oui	Zonage très approximatif, versant + terrain remaniés…
H11	Dépôts Félines	Plaquages	Schistes houiller	moyenne	s.o	s.o	s.o	s.o	Oui	Plaquages éparses dans talus très penté
H12	Verse Gleizé	Verse ou plate-forme	Schistes houiller	moyenne	1400	2	1000	<30°	Oui	Descenderie Gleizé a priori située sur ce dépôt, aucune trace observée
H13	Trace Gleizé	Plaquages	Schistes houiller	moyenne	s.o	s.o	s.o	s.o	Oui	Emplacement supposé entrée galerie (« effondrement » d'après un vigneron)
H14	Dép Ternand	Plate-forme	Résidus de laverie et produits de creusement	fine	8500	6	inconnue	<10°	Partielle	Étude environnementale de dépôt spécifique [18] Dépôt érodé par l'Azergues
H2	Dép ODJ 3 et 4	Monticules	Inconnue	grossière	2550	3	2500	<30°	Partielle	Zone difficile d'accès, plusieurs monticules, plaquages, etc.
H3	Verse ODJ 1	Verse	Inconnue	moyen/grossier	450	4	800	<30°	Partielle	Possible dépôt remanié/aménagé, parcelle privée clôturée
H4	Dépt Champtouly	Verse / plaquage	Inconnue	moyen/grossier	s.o	s.o	s.o	s.o	Partielle	
H5	Dép entrée cote 30	Plate-forme	Inconnue	moyen/grossier	220	2	100	<30°	Oui	Petite plate-forme a priori immédiatement dans l'axe et à la sortie de la galerie (ODJ n°8)
H6	Monticule puits 9	Monticule	Stériles de creusement	moyen/grossier	100	1	50	<30°	Oui	Monticule de dépôt correspondant à l'emplacement du puits (ODJ 9) - probable stérile de creusement
H7 (et H7b)	Verses de Berchoux	Verse	Produits de creusement et de traitement physique	fine	1250	6	inconnue	40°	Partielle	Étude environnementale de dépôt spécifique [18]. Aucune trace de la verse 7b ne subsiste
H8	Verse Gleizé	verse	Schistes houiller	moyenne	810	2	300	<30°	Oui	probable décharge matériau postérieure en amont.
H9	Dép Féline 1914-1919	Monticule	Schistes houiller	moyenne	2500	4	2500	<30°	Partielle	Limite ouest difficile à reconnaitre

Tableau 10 : Caractéristiques des dépôts

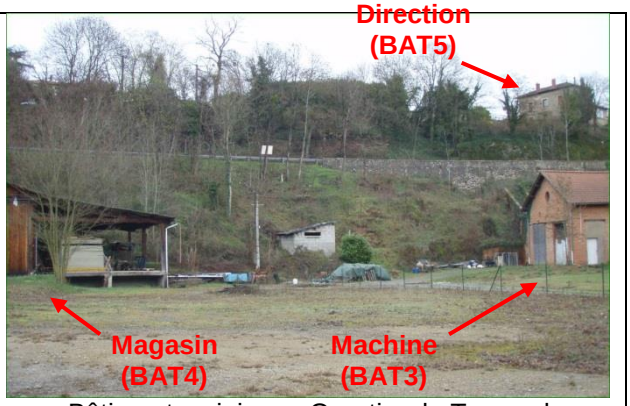
4.11 Autres informations

4.11.1 Installations de surface liées aux mines

En cohérence avec l'importance des travaux miniers exécutés, peu d'installations ont été réalisées. Les seuls vestiges visibles de l'activité minière sont :

- Sur le quartier de Berchoux, le bâtiment des bureaux et celui des machines (BAT1) sont encore existants. Les deux se trouvent sur une même propriété privée et l'ancienne salle des machines semble correspondre aujourd'hui à une habitation secondaire ;
- Sur le quartier de Gleizé, le bâtiment (BAT2) présent en amont des travaux et en bordure de la route correspond à un ancien bâtiment minier (avec treuil pour remonter le minerai de la descenderie 25 au bord de la route) ;
- Sur le quartier de Ternand, trois bâtiments liés à la mine (machinerie, direction, magasins, voir plans 14 et 17) sont encore présents. Le bâtiment de la direction a été transformé en habitation (BAT5) et les bâtiments machinerie (BAT3) et bâtiment magasin (BAT4) correspondent aujourd'hui à des garages ou des entrepôts.

Bâtiment minier – Quartier de Gleizé (BAT2)



Bâtiments miniers – Quartier de Ternand

Figure 18 : Aperçus photographiques d'anciens bâtiments miniers

4.11.2 Indices miniers

Sur l'ensemble des quartiers miniers étudiés, 26 indices miniers ont été répertoriés, parmi ces indices :

- 7 correspondent à la situation approximative d'ouvrages ou de sites miniers relatés dans des documents d'archive sommaires n'ayant pas permis de les localiser précisément. Les recherches de terrain n'ont pas apporté davantage de précisions, ils sont conservés comme indices (sans pour autant pouvoir être associé à un ouvrage minier). Il s'agit de :
  - indices 10 et 11 → Quartier du vallon de Mussy, 2 puits de recherche figurent sur le plan 20. Aucune trace retrouvée sur le terrain ;
  - indice 8 → Quartier des Espagnes, une galerie inférieure et 4 puits figurent sur la coupe 9. Cette zone a été située de manière indicative à partir de mentions écrites et d'une plate-forme suspectée (indice 4) observée sur le terrain (possible débouché de la galerie inférieure) ;

- indice 7 → Quartier de Gonnin, une amorce de descenderie localisée sur le plan 19. Aucune trace retrouvée sur le terrain ;
- indice 6 → Quartier de Létra, deux descenderies de recherche localisées par un point BSS. Aucune trace retrouvée sur le terrain ;
- indices 12 et 20 → Quartier du vallon de Mussy, au moins 3 ouvrages (puits + entrées). Aucune trace retrouvée sur le terrain ;
- indice 13 → Quartier de Gleizé (Sainte-Paule), un puits de recherche dit « à 550 m au nord de Félines ». Aucune trace retrouvée sur le terrain.

- 1 correspond à la position en surface du chapeau de fer du quartier de Berchoux (d'après plan 6) ;
- 1 correspond à l'observation d'une zone chahutée sur une photographie aérienne de 1950 (quartier de Gleizé) ;
- 4 indices correspondent à des résurgences minières (ou marres) observées sur le terrain à la sortie de galeries de mine ;
- 13 indices correspondent à des observations faites sur le terrain qui ne peuvent pas être rattachées aux autres éléments miniers cartographiés (ouvrages, désordre, dépôts, etc.) soit parce que leur origine minière est incertaine, soit parce qu'il s'agit d'observations particulière et ponctuelles (ex : vestige tranchée d'accès, dépression ou plate-forme suspecte, etc.).

Un tableau exposant leurs caractéristiques est présenté en annexe 1.

4.11.3 Environnement

Sans qu'aucune recherche spécifique n'ait été réalisée dans le cadre de cette étude, plusieurs points à caractère environnemental peuvent être formulés :

- les sites miniers ont exploité des gisements plus ou moins sulfurés (pyrite) ;
- plusieurs émergences minières ont été observées Id 1, 2 et 15 ;
- la zone de dépôt de Ternand (H14) est en contact direct, sur une centaine de mètres de longueur, avec la rivière Azergues ;
- les deux dépôts principaux, dépôt de Berchoux (H7) et de Ternand (H14) ont fait l'objet d'études environnementales et sanitaires récentes, [18], [35] :
  - Berchoux : « *des recommandations sont émises pour limiter les expositions aux dépôts de stériles miniers des usagers actuels* ». GEODERIS recommande par ailleurs l'interdiction de tout usage de l'eau de la résurgence minière : boisson, usages domestiques et irrigation des jardins potagers ;
  - Ternand : « *des recommandations sont émises en vue de supprimer l'exposition aux sols contaminés, d'interdire tout usage de l'eau de deux puits pour la boisson et l'arrosage d'un éventuel potager* ».

5. CARTOGRAPHIE INFORMATIVE

L'ensemble des éléments informatifs a été replacé sur la carte jointe en annexe 4. Les paragraphes ci-après détaillent la réalisation de cette carte informative.

5.1 Système d'information géographique

Les éléments reportés sur la carte informative sont disponibles sous la forme d'un Système d'Informations Géographiques (SIG) construit et présenté sous un environnement logiciel MAPINFO®. Le système de coordonnées est le LAMBERT 93 non borné (EPSG 2154). Ce SIG se caractérise par les couches thématiques suivantes (.tab) :

- les données minières :
  - les emprises de travaux miniers avérés, issus de plans de travaux calés ;
  - les marges d'incertitude de position des travaux miniers avérés ;
  - les zones potentiellement affectées par des travaux miniers ;
  - les ouvrages débouchant au jour (puits et entrées de galeries) ;
  - les désordres au jour répertoriés ;
  - les indices miniers ;
  - les dépôts ;
  - les infrastructures minières.
- les fonds cartographiques :
  - la BD-Ortho® de l'IGN ;
  - le Scan25® de l'IGN ;
- les limites administratives :
  - les limites de communes ;
  - les limites des titres et sites miniers.

5.2 Méthode de nomination

Les ouvrages débouchant au jour (ODJ) sont numérotés de 1 à 27 dans la table ouvrages.tab du SIG.

Les deux désordres recensés portent les numéros D1 et D2 dans la table desordre.tab du SIG.

- Les indices miniers sont numérotés ID1 à ID20 dans la table Indices.tab du SIG.
- Les dépôts sont numérotés de H1 à H14 dans la table dépôts.tab du SIG.
- Les plans miniers utilisés sont numérotés de 1 à 29 (voir tableau en annexe 1).

5.3 Qualité et géoréférencement des plans miniers retrouvés

Une trentaine de plans et quelques coupes ont été retrouvés et photographiés. Ces documents ont été indispensables à la réalisation de l'étude. L'inventaire des principaux plans et coupes utilisés est présenté en annexe 1 et un aperçu de chacun d'eux est exposé en annexe 2.

De manière synthétique, l'analyse de ces documents révèle que :

- 17 plans représentant des travaux souterrains ont été géoréférencés (ce qui a permis de déterminer les emprises de travaux avérés) ;
- la grande majorité de ces documents sont issus du Service des Mines ;
- les Archives Nationales (cote F14-18660), et dans une moindre mesure la BSS3, ont fourni la majorité des plans, hormis ceux des sites de Sainte-Paule qui proviennent exclusivement du dossier éponyme des archives de la DREAL Rhône-Alpes Auvergne ;
- l'échelle des plans de travaux (1/500, 1/1000 ou 1/2000) permet une bonne représentation de ces derniers.
- L'incertitude finale (ou globale) sur la localisation des travaux miniers résulte de la prise en compte des incertitudes suivantes (généralement il s'agit de sommer ces incertitudes) :
- l'incertitude intrinsèque au plan d'archive : il s'agit de l'imprécision du tracé du contour des travaux qui composent le plan. Elle est notamment liée à l'échelle du document mais la date d'établissement et la qualité des tracés peuvent également entrer en jeu dans l'appréciation de l'incertitude intrinsèque ;
- l'incertitude liée à la reproduction du plan, qui est fonction du moyen de reproduction employé pour l'étude. Par exemple, photographier un plan engendrera une incertitude plus grande que de le scanner ;
- l'incertitude liée au géoréférencement du plan, c'est à dire à l'opération de calage du plan par rapport au support cartographique. L'incertitude des points de repère communs au plan et au support a notamment une grande importance. La répartition et le nombre de points de calage conditionnent aussi fortement cette incertitude : des points de calages alignés et non répartis uniformément sur le plan engendrent une incertitude plus importante sur les secteurs éloignés des points de calage ;
- enfin l'incertitude liée à la précision même du support cartographique (Scan25®, BD-Ortho®, …). Ainsi l'incertitude correspondant à la BD-Ortho® de l'IGN est estimée à 3m.

Remarque/Rappel : pour chaque quartier minier, les plans utilisés et leur qualité sont décrits dans le Tableau 2, en page 23.

[3] *Banque du Sous-Sol*

5.4 Cartographie des travaux miniers

5.4.1 Remarques préalables

- Sur la carte informative en annexe 4, les zones de travaux cartographiées proviennent des tables GaleriesTMS.tab et EmpriseTravaux.tab du SIG.

  Dans la table *GaleriesTMS.tab*, seules les digitalisations des travaux miniers « avérés » sont représentées. Ces tracés n'intègrent pas les différentes incertitudes détaillées ci-après.

Dans la table *EmpriseTravaux.tab*, toutes les enveloppes de travaux représentées intègrent les différentes incertitudes de position. Cette table comprend les enveloppes de travaux avérés (marge d'incertitude comprise) ainsi que les zones potentiellement affectées par des travaux miniers.

- Parmi les 11 quartiers répertoriés, 7 présentent des enveloppes de travaux miniers souterrains avérés.

  En l'absence de localisation suffisamment précise, aucune enveloppe de travaux n'a été cartographiée sur les quartiers de Gonnin, Létra et les Espagnes.

  Concernant le quartier du vallon de Mussy, seule une zone potentiellement affectée par des travaux miniers est cartographié

- Pour chaque quartier minier, la description des principes de cartographie des travaux est détaillée dans le Tableau 2 en page 5

5.4.2 Travaux miniers avérés (plans de mine)

De manière synthétique, la cartographie des travaux avérés peut-être divisée en deux parties :

- les enveloppes de travaux provenant d'un unique plan représentant l'ensemble des travaux (quartiers de Pierreplate, du Bout du Monde, de la Creuse et de Berchoux). Les points de calage qui ont permis le géoréférencement proviennent soit de levés de terrain avec dGPS (puits, entrées de galeries), soit d'éléments de surface figurant sur les plans d'archive et sur la BD-Ortho® utilisée pour représenter la surface (croisement route, angle bâti, etc.). L'incertitude de position de ces travaux est relativement bonne, estimée entre 5 et 15 m.

- les enveloppes de travaux provenant du calage de plusieurs plans incomplets et relativement imprécis (quartiers de Ternand, Félines et Gleizé). Ces plans d'archive ne représentent qu'une partie des travaux, et, dans plusieurs cas, aucun élément de surface n'y est représenté. Certains plans ont été « calés » à partir d'un seul point (ex : position entrée) et en utilisant l'échelle et/ou l'orientation du Nord. L'incertitude de position de ces travaux est plus importante, estimée entre 5 et 30 m.

5.4.3 Zones potentiellement affectées par des travaux miniers

Au total 8 zones de travaux potentiellement affectées par des travaux miniers ont été cartographiées, elles correspondent à :

- Quartier du Bout du Monde : deux zones associées à deux puits matérialisés pour lesquels des archives mentionnent l'existence sans qu'aucun plan n'ait été retrouvé (voir détail Tableau 2) ;
- Quartier de Félines : quatre zones associées à quatre puits localisés pour lesquels des archives mentionnent l'existence sans qu'aucun plan n'ait été retrouvé (voir détail Tableau 2) ;
- Quartier du Vallon de Mussy : une zone liée aux propos rapportés par plusieurs habitants (parcelle présentant dans le passé plusieurs « trous » d'origine minière) ;
- Quartier de Ternand : une zone liée aux travaux profonds représentés sur le plan 14. Le dessin de ces travaux semble très schématique.

5.5 Autres éléments cartographiés

Remarque : les tracés informatifs des dépôts, des ouvrages débouchant au jour et des indices, représentés sur la carte informative, n'intègrent pas l'incertitude de localisation exposée par la suite.

5.5.1 Les ouvrages débouchant au jour

La phase informative a répertorié 27 ouvrages débouchant au jour ; 12 de ces ouvrages ont été matérialisés lors des phases terrain. Les incertitudes finales de positionnement de ces ODJ sont :

- de l'ordre de 5 m pour les ouvrages matérialisés et levés au dGPS (tenant compte de l'incertitude du levé et de celle du fond BD-Ortho®) ;
- de 5 à 30 m pour les autres ouvrages localisés (valeurs dépendant des travaux de calage des plans sur lesquels sont reportés ces ouvrages).

5.5.2 Les désordres

L'unique désordre en surface observé (voir paragraphe 4.9) a été matérialisé et levé au dGPS lors de la phase terrain. L'incertitude de localisation de ce désordre (D1) est de l'ordre de 5 m (tenant compte de l'incertitude du levé et de celle du fond BD-Ortho®).

Concernant le désordre D2, relaté et non observé (voir paragraphe 4.9), une incertitude de localisation de l'ordre de 10 m est retenue.

5.5.3 Les dépôts

14 zones de dépôts ont été observées sur le terrain. Certaines zones ont été entièrement levées au dGPS alors que pour d'autres, seul un contour approximatif a été réalisé à partir de la BD-Ortho® utilisée.

L'incertitude de localisation des dépôts est de l'ordre de 5 m lorsqu'ils ont été levés entièrement au dGPS et elle est estimée à 10 m pour les autres.

Dans 4 cas, les dépôts ont été cartographiés sous la forme d'un symbole ponctuel. Dans le cas des dépôts H4, 11 et 13, les plaquages observés paraissent peu étendus et peuvent difficilement être délimités du terrain naturel. Dans le cas du dépôt H3, l'accès à la propriété était interdit et l'image aérienne n'a pas permis de délimiter ce dépôt fortement suspecté.

5.5.4 Les indices miniers

Tous les indices sont affichés sur la carte informative avec deux figurés, un pour les indices matérialisés (observations de terrain), et un pour les indices provenant d'informations relatées et non observées.

L'incertitude de localisation des indices matérialisés et levés au dGPS est de l'ordre de 5 m (tenant compte de l'incertitude du levé et de celle du fond BD-Ortho®).

Lorsque les indices proviennent « d'observations relatées », l'incertitude de position est généralement élevée (10 m au plus précis et de l'ordre de 50 m plus généralement) et dépend de la source de l'information (points BSS, récit de riverain…). D'une manière générale, ces positions sont approximatives et indicatives.

6. PHASE D'EVALUATION DES ALEAS

Les informations synthétisées dans la première partie de ce rapport permettent d'identifier les différents aléas miniers qui sont retenus comme pertinents pour la deuxième phase de l'étude (analyse détaillée des aléas) et ceux qui peuvent être raisonnablement écartés.

6.1 Identification des aléas retenus / écartés

6.1.1 Aléas retenus

6.1.1.1 L'aléa Effondrement localisé

Un effondrement localisé se caractérise par l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont l'extension horizontale varie de quelques mètres à une dizaine de mètres. Généralement, il est classique de distinguer, selon les mécanismes initiateurs :

- l'effondrement localisé consécutif au débourrage d'un puits ou à la rupture de sa tête ;
- l'effondrement localisé relatif aux galeries (par éboulement de toit ou d'une voûte de galerie) ;
- l'effondrement localisé relatif aux zones d'exploitation (par rupture locale de pilier(s) isolé(s), du toit des chambres exploitées ou du pilier-couronne).

Les conditions de mise en sécurité de la plupart des puits relatifs aux travaux miniers étudiés ici ne sont pas connues en détails. Certains sont simplement notés comme « remblayés » et aucune information n'a été retrouvée pour les autres. Le traitement pérenne de ces ouvrages ne peut pas être assuré ; le phénomène d'effondrement localisé sur ces ouvrages doit donc être prise en compte.

Les travaux souterrains pour le charbon (Sainte-Paule) sont localisés entre la surface et environ 100 m de profondeur. L'exploitation menée par galeries isolées, élargissages et, localement, par dépilages et remblayage a probablement laissé des vides résiduels. Un effondrement localisé, relaté par des riverains a été positionné sur ces travaux.

Les travaux souterrains pour les métaux (fer, plomb, argent, manganèse) ont été menés :

- majoritairement par traçages isolés ;
- ponctuellement par tranches montantes, au sein de colonnes minéralisées.

L'absence de vide résiduel ne peut pas être garantie au sein de ces zones En outre, un effondrement localisé ainsi qu'une montée de voûte ont été observés sur ces anciennes exploitations polymétalliques.

Sur la base de ces éléments, une analyse plus fine des mécanismes potentiels d'effondrement localisés doit être entreprise au droit des galeries et chantiers exploités.

6.1.1.2 L'aléa Mouvement de pente - Glissement

Les glissements de pente sont des phénomènes d'instabilité généralement observés sur les flancs des dépôts.

14 dépôts liés à l'exploitation ont été recensés ici ; même s'ils présentent des hauteurs modestes (< 6 m), certaines configurations peuvent néanmoins se révéler sensibles vis-à-vis de glissements potentiels de surface (granulométrie, valeur de pente…). Ce type de phénomène sera donc pris en compte par la suite.

6.1.1.3 L’aléa Tassements sur dépôts

Les stériles d’exploitation, mis en dépôt sous forme de plaquages, verses ou terrils, peuvent présenter une composition assez hétérogène, tant en termes de nature des matériaux qu’en termes de granulométrie. Leur mise en place, souvent assurée par simple déversement, ne garantit pas une compaction complète des déblais. Ces matériaux peuvent subir une compaction, susceptible d’engendrer la formation des tassements en surface.

Ce type de phénomène doit être pris en compte sur les dépôts recensés.

6.1.2 Aléa écartés

6.1.2.1 L’aléa Affaissement

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

Un affaissement minier peut être provoqué et faire partie de la méthode d’exploitation (foudroyage des terrains au droit de taille où le minerai est enlevé totalement) mais il peut également survenir de manière accidentelle en cas de rupture d’ouvrages souterrains au sein d’exploitations partielles (piliers dans le cas d’exploitation par de chambres et piliers abandonnés notamment).

Dans le cas des exploitations totales, les affaissements en surface se limitent généralement à quelques années après l’arrêt des exploitations, y compris les tassements résiduels. Une rupture accidentelle des ouvrages souterrains peut survenir à tout moment de la phase d’après-mine.

Ce type de manifestation concerne bien souvent des exploitations profondes, en plateure ou pentées, présentant des ratios largeur/profondeur importants et des vides résiduels importants.

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

Dans le cas présent, les exploitations souterraines présentent les caractéristiques suivantes :

- elles sont terminées depuis les années 1920 ;
- elles sont situées entre 0 et 110 m de profondeur ;
- elles sont organisées en quartiers hétérogènes et peu étendus (faible ratio largeur/profondeur) ;
- elles ont été menées:
- généralement par traçages de galeries isolées plus ou moins élargies ;
- localement, par des tranches montantes plus ou moins remblayées (polymétalliques) ;
- localement par dépilages plus ou moins remblayés ou éboulés (charbon).

Sur la base de ces éléments, l'aléa affaissement (accidentel et ou liés à la fermeture de vides au droit d'exploitation totale) peut être écarté.

6.1.2.2 L'aléa Effondrement généralisé

Un effondrement généralisé correspond à la rupture de tout ou partie d'une exploitation partielle souterraine conduisant à un abaissement brutal de la surface qui se traduit par une rupture franche des terrains. On parle d'effondrement en masse ou généralisé lorsqu'il concerne une zone étendue en surface (plusieurs dizaines de mètres d'extension).

Les deux principaux critères de réalisation d'effondrements généralisés sont :

- l'existence d'une zone de chambres et piliers abandonnés et sous-dimensionnés présentant une relative homogénéité dimensionnelle (longueur, largeur et forme des piliers) ;
- l'existence, dans le recouvrement des travaux, d'un banc suffisamment résistant capable de supporter, au moins temporairement, les contraintes et la mise en charge générées par les piliers sous-dimensionnés puis de se rompre brutalement et soudainement.

Dans le cas des travaux souterrains de la présente étude, aucune exploitation étendue et régulière, qui plus est par chambres et piliers abandonnés, n'a été réalisée et aucun banc « raide » n'est présent dans le recouvrement.

Dans ces conditions, tout effondrement brutal au droit des exploitations souterraines recensées peut être écarté.

6.1.2.3 L'aléa tassements sur travaux souterrains

Comme mentionné précédemment, les exploitations totales (éboulées ou remblayées) ayant été terminées dans les années 1920, les éventuels mouvements de terrain consécutifs à la fermeture de ces secteurs sont aujourd'hui terminés (y compris les éventuels tassements résiduels).

Il peut également être envisagé que des travaux situés à faible profondeur soient susceptibles d'entraîner des tassements perceptibles en surface, sous l'effet de surcharges ou de modification des conditions hydriques :

- par recompaction des terrains au droit de zones remblayées peu profondes ;
- par suite d'un phénomène de fontis autofoisonné.

Ces phénomènes apparaissent difficiles à détailler vis-à-vis de l'aléa prédominant d'effondrement localisé. En effet, ces aléas concernent les mêmes secteurs miniers et s'expliquent par des mécanismes initiateurs très proches. Des phénomènes de tassements seront donc possibles au droit des « mêmes » zones de travaux miniers et ODJ que ceux concernés par les effondrements localisés. Les conséquences en surface s'apparenteront très certainement à des mouvements verticaux de faible ampleur évidemment « englobés » par les effondrements localisés également possibles sur ces zones. Ainsi, il a été convenu de ne pas détailler l'étude des tassements sur les travaux miniers souterrains et les ouvrages remblayés (l'analyse et la cartographie des effondrements localisés étant suffisantes).

6.1.2.4 **L'aléa Crevasses**

Les crevasses sont, si on les définit de manière purement géométrique, des discontinuités marquées, d'ouverture pluri-centimétrique à pluri-décimétrique, d'extension pouvant aller de plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres, et de profondeur variable, pouvant atteindre plusieurs mètres. Elles sont formées à l'occasion de la fermeture de vastes zones de vides miniers : accidentelle ou d'exploitation (exploitation totale par dépilage notamment).

Plusieurs typologies de phénomènes peuvent être à l'origine de leur formation : les affaissements, les affaissements cassants et les effondrements généralisés, [A]. L'apparition et la découverte en surface de ces crevasses, dans des conditions particulières, peut se produire de nombreuses années voire plusieurs dizaines d'années après leur formation.

Dans le cas présent, tout phénomène de crevasses peut être écarté des zones d'exploitations polymétalliques (concernées par des méthodes de type galerie ou chambres montantes).

Les travaux de charbon de Sainte-Paule ont été localement menés par dépilages plus moins suivis de remblayage, sur des ouvertures de moins d'un mètre, au sein de panneaux peu étendus et à moins de 100 m de profondeur. Ces critères ne favorisent pas la formation de crevasses, [A].

Sur la base de ces éléments, tout phénomène de crevasses sera écarté de la suite de l'étude.

6.1.2.5 **L'aléa Écroulement rocheux**

Les écroulements rocheux sont des phénomènes d'instabilité communément observés lorsque des travaux ont été réalisés à ciel ouvert (fronts rocheux instables).

Des exploitations à ciel ouvert semblent avoir été ponctuellement réalisées, toutefois elles ne sont aujourd'hui plus visibles (probablement remblayées par les compagnies minières ou les riverains depuis la fin de l'exploitation). Aucun front de cette nature n'a été recensé sur les sites étudiés, l'aléa écroulement rocheux est donc écarté.

6.1.2.6 **L'aléa Échauffement (travaux souterrains, dépôts et affleurements)**

L'historique des exploitations ne révèle aucun évènement de type incendie au sein des travaux miniers souterrains.

Aucun problème d'échauffements au niveau des ouvrages débouchant au jour, des affleurements ou des dépôts n'a été recensé ni observé.

Ainsi, l'aléa échauffement sera écarté de la suite de l'analyse.

6.1.3 Aléas non étudiés

Les aléas émission de gaz de mine et environnement n'ont pas été évalués compte tenu des éléments suivants :

- Pour l'émission de gaz de mine, compte tenu de la substance exploitée (plomb) et/ou du faible volume des travaux dénoyés. Néanmoins, comme toute cavité souterraine non ventilée, les travaux miniers sont susceptibles de contenir de l'air désoxygéné ou du dioxyde de carbone à des teneurs pouvant présenter un risque par exemple en cas de pénétration dans les travaux miniers ;
- Pour l'environnement, compte tenu du fait que l'impact environnemental lié aux anciennes exploitations minières est pris en compte dans le cadre de la mise en œuvre de l'inventaire des déchets issus de l'industrie extractive réalisé sur l'ensemble du territoire métropolitain en application de l'article 20 de la directive européenne 2006/21/CE (inventaire dit « DDIE »). Dans ce cadre, les travaux pour charbon sont écartés en amont de la hiérarchisation (non prioritaires), tandis que pour les autres substances, nous avons vu que le dépôt de Berchoux (H7) et de Ternand (H14) ont fait l'objet d'études environnementales et sanitaires récentes, [18], [35].

6.2 Principes d'évaluation des aléas

Les aléas retenus sont évalués selon les principes en vigueur (Guide d'évaluation des aléas miniers et notes GEODERIS relatives à la cartographie de l'effondrement localisé et à l'homogénéisation des EDA, [A], [B], [C] du paragraphe 2.3).

L'approche permettant de qualifier les aléas consiste souvent à :

- découper le secteur d'étude en zones ou ouvrages « homogènes ». Ce découpage peut être géographique, géomorphologique ou géologique mais il est plus souvent réalisé sur la base des critères d'exploitation (déterminés d'après les plans miniers ou l'historique des sites) et de paramètres géométriques. Il s'agit de définir des zones ou des objets (ouvrages ou zones de dépôts) dont le comportement vis-à-vis de chacun des phénomènes redoutés sera similaire ou très proche ;
- évaluer, zone homogène par zone homogène, le niveau d'aléa généré par chaque type de phénomène redouté. L'aléa correspond à la probabilité qu'un phénomène donné se produise, au cours d'une période de référence, en atteignant une intensité qualifiable ou quantifiable. La caractérisation du niveau d'aléa repose donc sur le croisement de l'intensité prévisible du phénomène avec sa probabilité d'occurrence (Tableau 11).
- Dans ce principe de tableaux croisés, où l'expert combine des valeurs qualitatives et quantitatives, une matrice de synthèse simplifiée est généralement proposée dans une optique didactique. Enfin, pour ne pas compliquer inutilement les analyses et leur valorisation en vue du zonage réglementaire, les classes d'aléas sont souvent limitées à 3 niveaux : faible, moyen et fort.

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

Tableau 11 : Définition du niveau d'aléa, croisement intensité/prédisposition, [A]

Dans les paragraphes suivants cette analyse sera menée pour les aléas et les phénomènes retenus comme pertinents (voir paragraphe précédent).

Remarques : les points identifiés comme indices miniers ponctuels, paragraphe 4.11.2, ne seront pas considérés par la suite comme source potentielle d'aléas miniers (indépendamment des zones potentiellement affectées par des travaux miniers). En effet, les observations et les données sur ces indices ne sont pas suffisantes pour les associer à un ouvrage minier.

6.3 Effondrements localisés liés aux puits

6.3.1 Phénoménologie

Plusieurs phénomènes peuvent être observés à l'aplomb d'un ancien puits de mine : simple tassement des remblais, coulissage du remblai ou bouchon, débourrage avec ou sans rupture de la tête de puits, rupture de la dalle en surface, etc… Dans l'étude détaillée des aléas, le phénomène le plus défavorable, à savoir l'apparition d'un effondrement localisé en tête d'ouvrage, est considéré.

La plupart du temps, la formation d'un effondrement localisé à l'aplomb de la tête d'un puits sera examinée, s'il répond à deux conditions :

- la colonne du puits est vide (partiellement ou totalement) : soit parce que l'ouvrage n'a pas été traité (puits vide), soit à la suite d'un débourrage de remblai ou d'une défaillance de la structure de traitement (plancher, serrement, bouchon, mauvais remblayage…) ;
- le revêtement du puits se rompt, entraînant la formation d'un cône d'effondrement dans les terrains meubles de surface.
- La typologie des puits au regard de l'évaluation des effondrements localisés est généralement basée sur :
- le type d'ouvrage : puits d'exploitation, puits de recherche (borgne, avaleresse…) ;
- les dimensions : diamètre, profondeur… ;
- les recettes : nombre, profondeur, traitement ;
- les modalités de traitement : dalle, remblayage, aucun ;
- le revêtement du puits : bois, maçonnerie…
- la date de fonçage ;
- l'état actuel du puits (en surface) ;
- le niveau d'eau, situation vis-à-vis de la remontée des eaux ;

- l'accidentologie, phénomènes connus et/ou observés, incident lors de la mise en sécurité…
- les terrains de recouvrement : nature, épaisseur, présence d'eau.

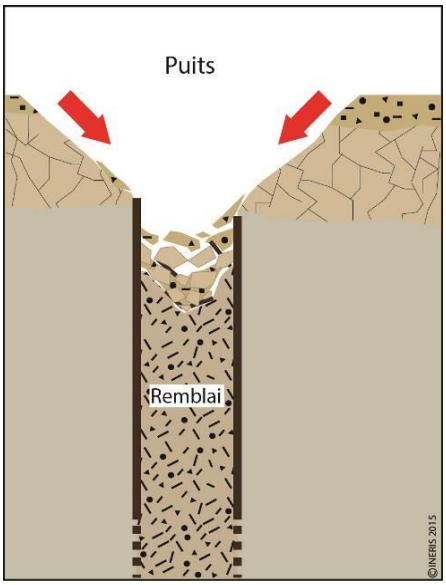


Figure 19 : Représentation schématique d'un effondrement localisé lié à un puits remblayé

Remarque : la remontée des eaux ou le battement de la nappe étant la phase la plus critique pour le débourrage des puits, un puits remblayé sera considéré comme plus sensible si le niveau d'eau n'est pas stabilisé. Sur l'ensemble des secteurs étudiés, la situation hydrogéologique est actuellement stabilisée (à l'exception de variation saisonnière) et n'influencera donc pas fondamentalement l'évaluation de l'aléa.

6.3.2 Prédisposition des puits aux effondrements localisés

Cette prédisposition s'évalue en deux temps : celle relative au phénomène de débourrage d'éventuels remblais et celle relative à la rupture de la tête du puits.

Compte tenu de la nature éparse des informations disponibles, la principale catégorisation des puits est basée sur :

- le caractère ouvert / remblayé des puits. Seuls deux puits ont été observés ouverts, les autres ont été remblayés (ou peuvent être supposés comme tels). Néanmoins, en l'absence d'information précise sur le suivi des opérations de remblayage et notamment le traitement des recettes, on ne peut pas exclure la présence de vide (possible fuite des remblais ou au tassement des remblais) ;
- la nature des terrains encaissants :
- Houiller peu compétent pour les puits de charbon, qui ont souvent été revêtus de bois ;
- terrain granitique pour les puits des mines polymétalliques, qui ont souvent été creusés au rocher ;
- la profondeur des puits. Les puits de charbon sont, a priori, généralement plus profonds que les puits des exploitations polymétalliques.

- Notons également qu'aucun désordre sur ces ouvrages n'a été recensé.

Aussi, nous distinguerons :

- les puits ouverts et vides (n°3 et 6). De faible profondeur et creusés au rocher granitique, ils sont définis comme sensibles aux effondrements localisés (très sensibles à la présence de vide mais déclassés en sensible du fait des terrains encaissants compétents) ;

- le puits 13. Cet ouvrage polymétallique, d'une trentaine de mètres de profondeur, a été observé depuis le fond par des spéléologues qui le « cartographient comme comblé » (voir plan 18 en annexe). Une telle observation depuis le fond pourrait laisser penser qu'un plancher aurait été disposé pour soutenir les remblais (permettant ainsi une vision du dessous par le fond). Cette configuration constitue un facteur aggravant vis-à-vis de la prédisposition aux effondrements localisés et il sera défini comme très sensible à ce phénomène ;

- les puits les plus profonds (n°20 et 24), de 60 et 100 m de profondeur environ. Il s'agit de puits avec un seul niveau de recettes. Ils ont été a priori remblayés en fin d'exploitation (mais sans détails sur cette opération). La prédisposition aux vides résiduels est donc définie comme peu sensible à sensible. Il s'agit de puits de charbon ce qui confère une certaine sensibilité à la rupture de leur tête. Ils seront finalement retenus comme sensibles aux effondrements localisés ;

- les autres puits de charbon (moins de 50 m de profondeur). Il s'agit de puits avec un seul niveau de recettes. Ils ont été a priori remblayés en fin d'exploitation (mais sans détail sur cette opération). La prédisposition aux vides résiduels est définie comme très peu sensible à peu sensible. Il s'agit de puits au charbon ce qui confère une certaine sensibilité à la rupture de leur tête. Ils seront finalement retenus comme peu sensibles aux effondrements localisés ;

- les autres puits polymétalliques (moins de 10 m de profondeur). Ils ont été a priori remblayés en fin d'exploitation (mais sans détails sur cette opération et doute sur la présence de remblais sur plancher). La prédisposition aux vides résiduels est définie comme peu sensible à sensible. Il s'agit de puits foncés en terrain granitique ce qui permet de limiter la probabilité des ruptures de colonnes et de tête. Ils seront finalement retenus comme peu sensibles aux effondrements localisés.

6.3.3 Intensité des effondrements localisés liés aux puits

L'intensité est caractérisée par les dimensions du cône susceptible de se former en surface autour du puits sujet à l'effondrement (Figure 20).

Aucun effondrement n'a été recensé de sorte que la mesure directe de ces dimensions est impossible.

Le rayon de sécurité (Rs) du cône d'effondrement se caractérise en surface par la distance entre l'axe du puits et la limite de la zone pouvant être affectée par l'instabilité. Rs, dépend du rayon du puits, de l'épaisseur et de la nature des terrains peu cohésifs de surface, [A], [B], [C] et peut être approchée par la formule suivante[4] (Figure 20) :

$$Rs = rp + hc \times \cot an(\alpha),$$

avec rp le rayon du puits, hc l'épaisseur des terrains déconsolidés de subsurface et α l'angle de talus naturels des terrains de subsurface.

Remarque :

La valeur théorique de Rs doit être mis en perspective du volume de vide disponible dans la colonne de puits.

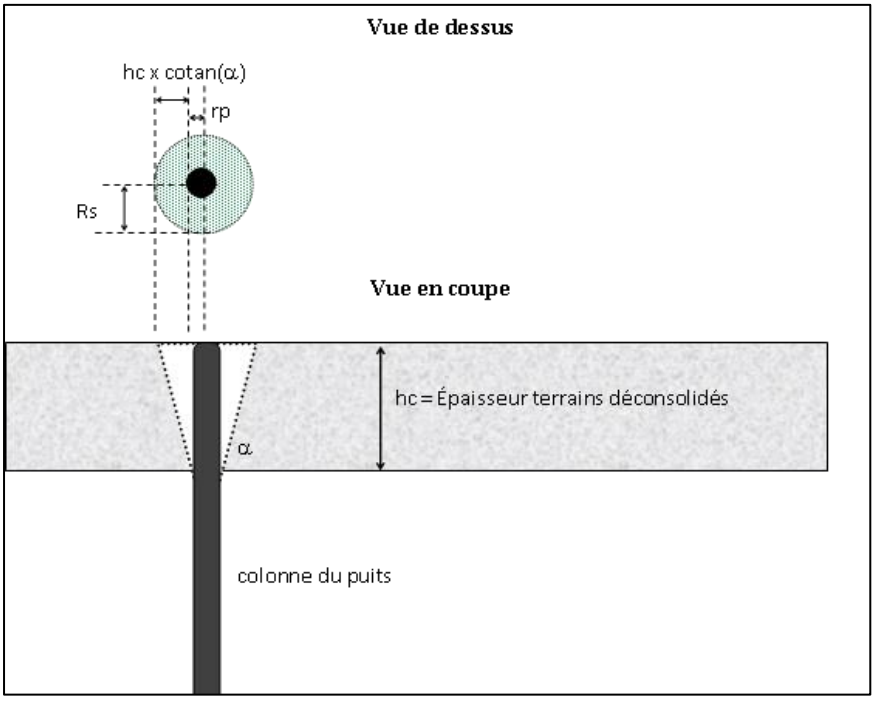


Figure 20 : Cône d'effondrement localisé d'un puits

[4] L'évasement du cône d'effondrement est mesuré à l'extérieur de la colonne du puits et à la base des terrains déconsolidés de subsurface. L'approche visant à intégrer un rayon plastique en plus du rayon du puits pour mesurer la base du cône d'effondrement n'est pas applicable ici faute de données précises sur la nature détaillée des terrains de recouvrement.

En considérant des rayons de puits compris entre 1 et 1,5 m, un angle de talus naturel de terrains subsurfaciques de 45° à 50° et des épaisseurs de terrain déconsolidé de subsurface de (cf. paragraphe 4.2.2) :

- 1 m pour les mines polymétalliques ;
- 3 m pour les mines de charbon ;

Alors les valeurs de Rs sont comprises :

- pour les puits polymétalliques, entre 1,8 et 2,5 m (soit des diamètres d'effondrement localisés inférieur à 5 m, soit une intensité limitée, [A]) ;
- pour les puits de charbon entre 3,8 et 4,5 m (soit des diamètres maximaux d'effondrement localisés de l'ordre de 9 m, soit une intensité modérée, [A]). Il s'agit là d'une valeur sécuritaire puisque le volume d'un tel cône [~90 m3] ne sera probablement pas disponible au sein des colonnes de ces puits remblayés.

6.3.4 Niveaux d'aléa des effondrements localisés liés aux puits

Les niveaux d'aléas sont obtenus par croisement des niveaux de prédisposition et d'intensité (Tableau 12 suivant).

Puits	Prédisposition aux eff loc	Intensité des eff loc	Niveau d'aléa
Les puits ouverts (n°3 et 6)	Sensible	Limitée	Faible
Les puits les plus profonds (n°20 et 24)	Sensible	Modérée	Moyen
Puits 13	Très sensible	Limitée	Moyen
Les autres puits de charbon	Peu sensible	Modérée	Faible
Les autres puits polymétalliques	Peu sensible	Limitée	Faible

Tableau 12 : Synthèses des caractéristiques d'analyse de l'aléa effondrements localisés sur puits

6.4 Effondrements localisés liés aux travaux miniers souterrains

6.4.1 Configurations de travaux souterrains et effondrements localisés

L'analyse technico-historique menée sur les données informatives ainsi que l'identification des mécanismes potentiels permettent de définir la nature des travaux miniers et la nature géologique de l'encaissant miniers comme paramètres principaux d'analyse de l'aléa effondrements localisés.

Il convient donc de distinguer :

- TVX_I : les galeries minières plus ou moins isolées (les galeries à flanc de coteau, les descenderies, les travers-bancs, les galeries de roulage ou les galeries d'exploitation) ;
- TVX_II : les lentilles polymétalliques exploitées en tranches montantes remblayées ;
- TVX_III : les amas charbonneux exploités par dépilage plus ou moins remblayés ou éboulés.

6.4.2 Phénoménologie

6.4.2.1 **Mécanisme 1 : Rupture du toit d'une galerie suivie d'une remontée jusqu'à la surface de type fontis**

L'origine de ce phénomène est la rupture du toit d'une galerie à faible profondeur. Sous certaines conditions, le fontis se propage vers la surface, au sein d'un « cylindre » vertical au droit de la galerie concernée, avant de s'évaser en cône en surface (Figure 21).

Ces désordres s'observent généralement, [A] :

- au toit de galeries isolées et/ou d'infrastructures à faible profondeur ;
- au toit des voies de tête des chantiers dépilés exploités à faible profondeur ;
- au toit d'une chambre vide (chambres et piliers abandonnés).

Trois désordres de ce type ont été recensés : un effondrement localisé avéré, une montée de voûte non-débouchante et un désordre relaté par un riverain mais non matérialisé.

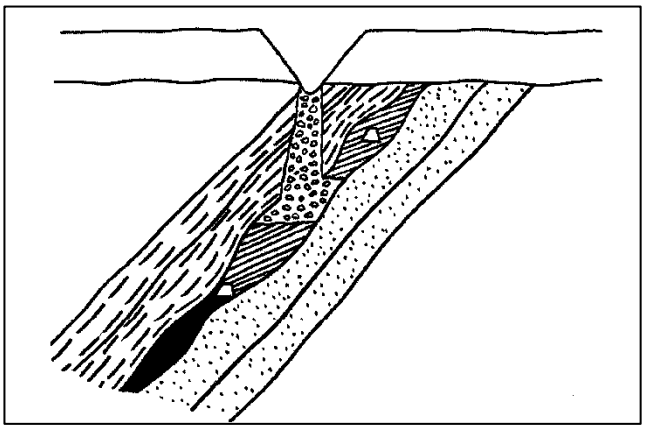


Figure 21 : Représentation schématique d'un effondrement de type fontis (veine à environ 40°), [D]

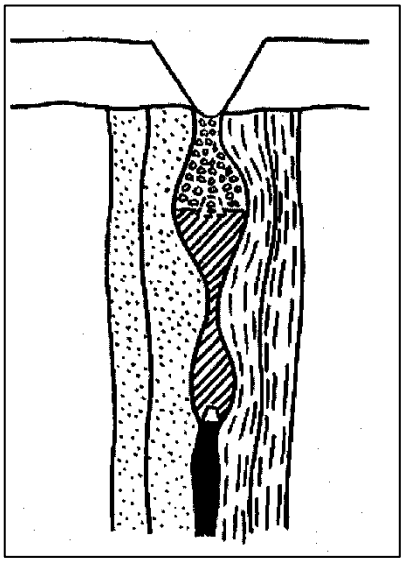


Figure 22 : Représentation schématique d'un effondrement de type fontis (veine verticale), [D]

Remarque : Ce type de phénomène peut concerner les gisements pentés comme les gisements tabulaires. Dans le cas de gisements pentés (> 45°), il n'est pas rare que le fontis se propage vers la surface en suivant le pendage des couches géologiques.

6.4.2.2 **Mécanisme 2 : Rupture du pilier-couronne**

Ce mécanisme se produit généralement lorsque des travaux miniers d'exploitation montants en gisements pentés ont été poussés trop près de la surface dans des zones d'altération potentielle de terrains. D'expérience, [D], ces ruptures se produisent rarement pour des exploitations aux pendages inférieurs[5] à 45°-50°.

Du fait du pendage important, du poids des terrains sus-jacents (lié à la profondeur d'exploitation) et de la nature des terrains (présence de failles, accidents tectoniques ou altérations), les efforts tranchants s'appliquant aux interfaces minerai/épontes peuvent dépasser la résistance au cisaillement de l'interface et mettre en péril la stabilité du pilier-couronne.

Suite à une rupture de ce type, le désordre peut se propager vers la surface, par rupture/glissements successifs, et déboucher en surface, plus ou moins brutalement, approximativement dans l'axe de la couche exploitée et de la cavité souterraine, Figure 23. La surface affectée est généralement de forme allongée (suivant l'allongement de la cavité).

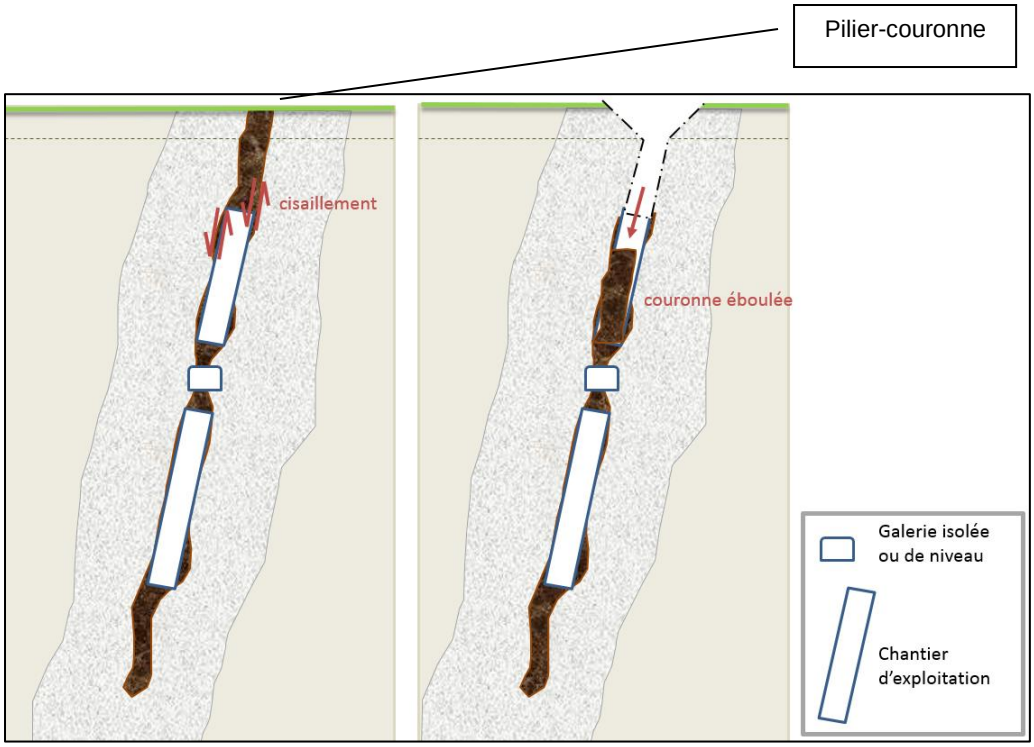


Figure 23 : Représentation schématique d'un effondrement localisé par rupture du pilier-couronne, Ineris

Aucun désordre de ce type n'a été recensé sur les sites étudiés.

[5] *Dans cette gamme de pendages « faibles », le phénomène d'effondrement localisé attendu est essentiellement du type fontis (rupture du toit en flexion).*

6.4.3 Effondrements localisés de type fontis

Ce type de mécanisme peut concerner les travaux des 3 configurations identifiés TVX_I à III. Dans le cas des zones de dépilage (TVX_III), la présence de galeries d'infrastructure vide ne peut pas être totalement exclue alors que cette présence est avérée en configurations TVX_I et II.

6.4.3.1 Évaluation de la prédisposition

L'évaluation de la prédisposition de ce type de phénomène dépend classiquement :

- de la nature et la résistance mécanique de terrains des veines de minerai, du toit et du recouvrement ;
- du volume de vides disponibles au sein des galeries souterraines par rapport à la profondeur ;
- de la présence de phénomènes analogues sur le secteur ou dans des configurations (géologie, conditions d'exploitation…) identiques.
- Ce phénomène peut être bloqué par :
- l'existence de bancs compétents et résistants dans le recouvrement capables de résister à la perte d'appui générée par la remontée de fontis ;
- le phénomène d'auto-comblement par foisonnement6 des éboulis au sein des vides souterrains résiduels.

Dans le cas des exploitations étudiées ici (configurations TVX_I ou III), la présence de galeries non remblayées ne peut pas être exclue. Ces galeries servaient bien souvent de voies d'accès, d'aérage ou de circulation voire de galeries d'exploitation. Il n'y a donc aucune raison technique à ce qu'elles aient été remblayées systématiquement. De même, certains chantiers TVX_II ont pu être tout ou partie non remblayés.

Ainsi, l'existence de vides résiduels est possible dans toutes les configurations de travaux TVX_I, II ou III.

Trois mécanismes de type montée de voûte ont été recensés (en configuration TVX_I) et localement des passages argileux altérés et éboulés ont été observés aux épontes de certains chantiers TVX_II.

Certainement plus résistants que les schistes, les granites ne peuvent néanmoins pas être considérés comme un banc compétent à l'échelle de tous les travaux miniers analysés et bloquer systématiquement toute initiation et montée de voûte. Nous supposerons qu'une rupture du toit des galeries et une montée de voûte sont possibles dans toutes les configurations de travaux TVX_I, II ou III, polymétalliques et charbon (*approche sécuritaire ici car la rupture de ce type de terrain est certainement conditionnée à la déstructuration préalable de ces terrains rocheux (failles, fissures, fractures naturelles ou anthropiques*).

Dans cette hypothèse (rupture de toit possible, vides résiduels et de surcroit absence d'horizon rocheux suffisamment épais et résistant pour arrêter systématiquement la remontée de voûte), une propagation vers la surface est envisageable. Cette remontée ne peut être bloquée que par l'autocomblement des vides souterrains résiduels (du fait du foisonnement des éboulis), Figure 24.

---

[6] Le foisonnement d'un terrain (roche ou sol) est sa capacité à augmenter de volume apparent lorsqu'il est morcelé. On calcule le coefficient de foisonnement qui est la proportion de volume supplémentaire sur le volume initial ramené à 100. Ainsi un décaissement de 100 m^3 de matériau en place donnant suite à un volume éboulé de 120 m^3 aura un foisonnement de 20 m^3 et un coefficient de foisonnement de 1,20 (ou de 20 %).

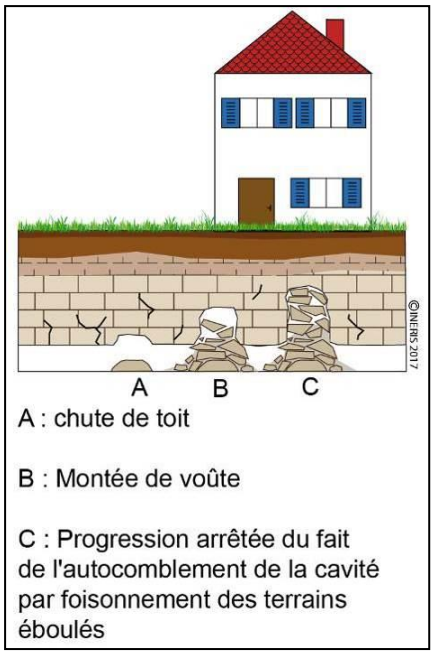


Figure 24 : Príncipe de l'autocomblement de vides résiduels stoppant une montée de voûte

Les sections des travaux concernés ici sont de l'ordre de :

- galeries TVX_I : 2 m de large et 1,8 à 2 m de haut ;
- chantiers TVX_II : 2 à 3 m de large et 4 à 5 m de haut.

L'expérience montre que les fontis s'initient sur une largeur égale ou légèrement inférieure à la largeur totale de la galerie (rayon du fontis variant dans une gamme de 80% à 100% du rayon maximal possible).
La gamme de valeurs du coefficient de foisonnement considérée ici est issue de la classification R.T.R.[7] :

- 1,2 à 1,4 pour des schistes plus ou moins altérés ;
- 1,4 à 1,6 pour des granites.

La gamme des valeurs d'angle de talus naturel retenue pour caractériser les éboulis est la suivante :

- de 40° à 50° pour les schistes plus ou moins altérés ;
- de 50° à 60° pour les granites durs.

Dans le cadre d'une approche probabiliste, plusieurs calculs de remontée de fontis ont été réalisés en faisant varier les paramètres de galeries dans les gammes précédentes (3000 calculs pour chaque cas de recouvrement, figures suivantes).

Les résultats (figures suivantes) révèlent que :

- Pour les galeries de charbon ou « charbonneuses » (TVX_I et TVX_III), Figure 25 :
  - toutes les remontées calculées sont supérieures à 10 m ;
  - une grande majorité des remontées calculées est inférieure à 31 m ;

[7] *Recommandations pour les Terrassements Routiers (RTR). SETRA et LCPC. 1976.*

- Pour les galeries polymétalliques (TVX_I), Figure 26 :
  - toutes les remontées calculées sont supérieures à 5 m ;
  - les remontées calculées sont majoritairement inférieures à 12 m.

- Pour les chantiers subverticaux polymétalliques (TVX_II), non représentés :
  - toutes les remontées calculées sont supérieures à 13 m ;
  - les remontées calculées sont très majoritairement inférieures à 26 m.

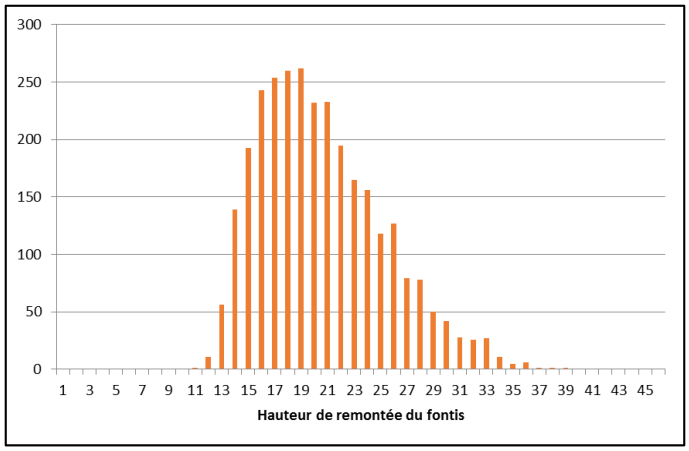


Figure 25 : Répartition des calculs de hauteur de remontées de fontis au droit des galeries en formation schisteuse

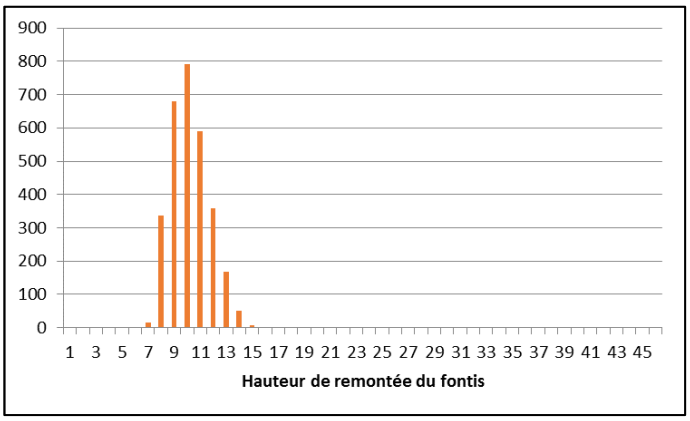


Figure 26 : Répartition des calculs de hauteur de remontées de fontis au droit des galeries en formation granitique

Sur la base de ces éléments les prédispositions suivantes seront retenues :

- galeries en contexte charbonneux (TVX_I et TVX_III) : peu sensible au droit des parties de galerie situées entre 0 et 30 m de profondeur et nulle au-delà. Ce niveau tient notamment compte de « l'absence » de désordre observé (le désordre décrit par un riverain n'ayant pas été matérialisé) et du caractère possible mais peu probable de la présence de vides résiduels dans cette configuration (anciens vides probablement en partie déjà refermés) ;
- galeries (TVX_I) en contexte granitique (polymétallique) : sensible au droit des galeries situées entre 0 et 10 m de profondeur et nulle au-delà. Ce niveau tient notamment compte des désordres observés sur ces parties de galeries (un effondrement localisé et une montée de voute en cours).
- Les premiers mètres de la galerie concernée par la montée de voûte (galerie 10) doivent d'ailleurs être classés en très sensibles du fait de l'évolution à terme vers un désordre en surface. De même, le fontis sur la galerie 15 présente de nombreux indices évolutifs en termes d'effondrement futurs, les premiers mètres de cette galerie seront également définis comme très sensibles ;
- chantiers subverticaux TVX_II : peu sensible au droit des chantiers dont les voies de tête sont situées à moins de 25 m de profondeur.

6.4.3.2 **Évaluation de l'Intensité**

Comme précédemment pour les puits, c'est le diamètre de l'effondrement localisé attendu qui détermine principalement la classe d'intensité, [A]. Dans certains rares cas, la profondeur permet également de préciser cette intensité mais cette information non disponible ici ne sera pas développée.

Le rayon de sécurité (Rs), ou rayon du cône d'effondrement, d'un tel phénomène se caractérise en surface par la distance entre l'axe de la cavité et la limite de la zone pouvant être affectée par l'instabilité. Rs dépend du volume disponible dans la cavité, de la largeur de la cavité, de l'épaisseur et de la nature des terrains peu cohésifs de surface (Figure 20) :

$$Rs = ½ \text{ largeur de cavité} + hc \times \cot(\alpha),$$

avec hc l'épaisseur des terrains déconsolidés de subsurface et α l'angle de talus naturels des terrains de subsurface.

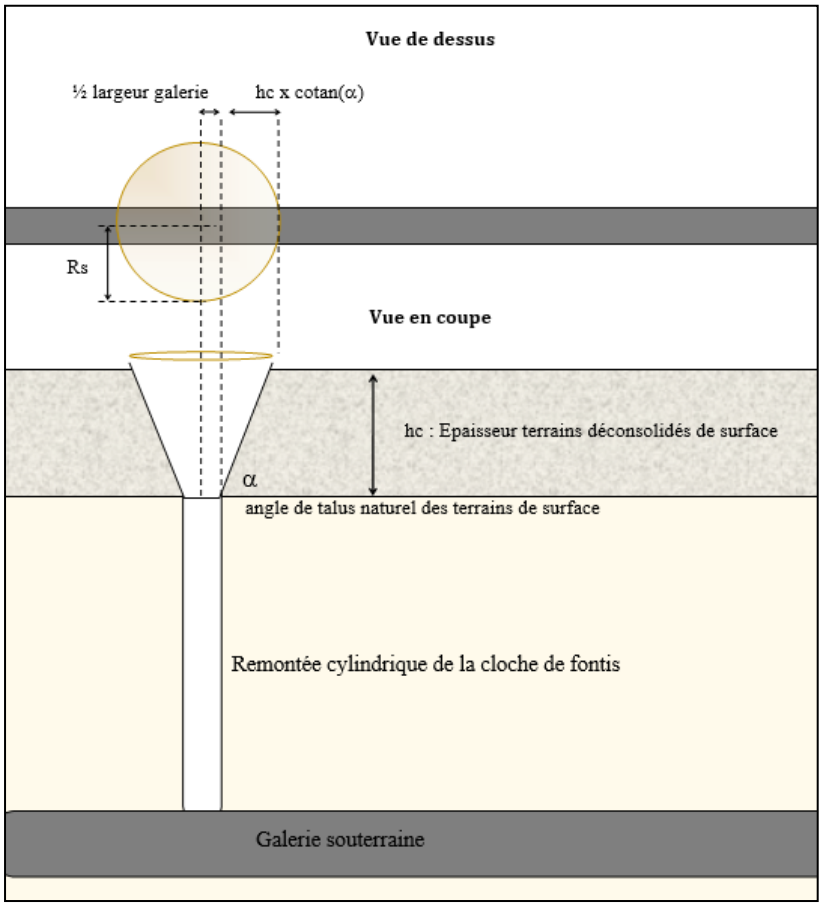


Figure 27 : Cône d'effondrement localisé

En considérant 1 et 3 m d'épaisseur de terrain de recouvrement (respectivement pour les terrains des mines polymétalliques et pour ceux des terrains houillers) et un angle de talus naturel de terrains subsurfacique de 45° à 50°, les valeurs de Rs sont comprises :

- entre 1,8 et 2 m (soit des diamètres d'effondrement localisés inférieurs à 5 m et donc une intensité limitée, [A]) pour les galeries TVX_I en terrain granitique (cette valeur est corroborée par le diamètre de 4 m du fontis observé à l'entrée de la galerie 10) ;
- entre 3,8 et 4 m (soit des diamètres maximaux d'effondrement localisés inférieurs à 8 m et une intensité modérée, [A]) pour les galeries TVX_I et les dépilages TVX_III en terrain charbonneux ;
- entre 1,8 et 2,5 m (soit des diamètres d'effondrement localisés inférieur à 5 m et une intensité limitée) pour les chantier subverticaux TVX_II.

6.4.3.3 Évaluation du niveau d'aléa

Les niveaux d'aléas sont obtenus par croisement des niveaux de prédisposition et d'intensité (Tableau 13 suivant).

Travaux		Prédisposition aux eff loc	Intensité des eff loc	Niveau d'aléa
TVX_I (galeries), polymétalliques	Prof de 0 à 10 m	Sensible	Limitée	Faible
	Prof > 10 m	Nulle	Limitée	-
	Entrée de la galerie 10 et de la galerie 15	Très sensible	Limitée	Moyen
TVX_II (chantiers subverticaux) polymétalliques	Prof de 0 à 25 m	Peu sensible	Limitée	Faible
	Prof > 25 m	Nulle	Modérée	-
TVX_III (dépilages/remblayage) et TVX_I (galeries) charbon	Prof de 0 à 30 m	Peu sensible	Modérée	Faible
	Prof > 30 m	Nulle	Modérée	-

Tableau 13 : Synthèses des caractéristiques d'analyse de l'aléa effondrements localisés de type fontis

6.4.4 Effondrements localisés de rupture du pilier-couronne

Par nature, seuls les chantiers d'exploitation subverticaux notés TVX_II peuvent être le siège de ce type de mécanisme de rupture du pilier-couronne. En effet, les galeries TVX_I en sont exclues en raison de leur section limitée ainsi que les dépilages TVX_III en raison de le subhorizontalité.

6.4.4.1 Évaluation de la prédisposition

L'évaluation de la prédisposition à ce type de rupture dépend :

- de la présence de phénomènes analogues sur le secteur ou dans des configurations (géologie, conditions d'exploitation…) identiques ;
- du pendage des exploitations ;
- de la nature des épontes de la couche de minerai. Ce type de phénomène traduit généralement le fait que les épontes du gisement sont plus résistantes que le minerai et qu'elles sont également régulières (favorables au cisaillement) ;
- de la profondeur des travaux. Ce phénomène complexe ne « s'arrête pas uniquement » par foisonnement des éboulis. Sans information précise (fissuration, résistance des matériaux), il est généralement admis de manière sécuritaire qu'au-delà d'une épaisseur de quarante à cinquante mètres, la prédisposition de la couronne à se rompre devient négligeable, [D] ;

- du volume de vides résiduels (dans le cas présent lié à l'état de remblaiement des travaux).

Le remblayage des chantiers constitue un premier facteur limitant la prédisposition aux ruptures de pilier-couronne. Ces opérations sont mentionnées à de nombreuses reprises dans les PV de visite des mines concernées. Néanmoins, des modifications ponctuelles de méthodes (en chambres magasin notamment) et les observations directes de chambres non intégralement remblayées (cas des parties sommitales de Ternand observées en novembre 2018), laissent penser que la présence de chantiers vides ne peut pas être exclue. En outre, les détails des opérations de remblayage ne sont pas connus précisément.

Le minerai est généralement encaissé de manière plus ou moins continue dans une structure granitique sans éponte réellement marquée ou alors de manière très irrégulière, localement des bancs argileux moins compétents ont été observés (Ternand, novembre 2018). Il n'en demeure pas moins qu'aucun désordre de type rupture de pilier-couronne n'a été recensé sur les sites étudiés. Ces éléments vont dans le sens de minimiser la sensibilité des chantiers au rupture de pilier-couronne (par cisaillement), notamment en profondeur.

Ainsi, nous proposons de définir :

- une prédisposition peu sensible aux rupture de pilier-couronne pour les chantiers ayant les toits les moins profonds (typiquement ceux à moins de 30 m de profondeur8) ;
- d'exclure toute rupture de pilier-couronne pour les toits de chantiers à plus de 30 m de profondeur.

6.4.4.2 **Évaluation de l'Intensité**

Par nature, ces évènements sont généralement soudains et peuvent affecter de longues zones en surface (alignées sur le toit des chantiers en souterrain) sous forme de gouttières avec des bords subverticaux. Ainsi, une intensité modérée à élevée est souvent attribuée, de manière forfaitaire, à ces phénomènes.

6.4.4.3 **Évaluation du niveau d'aléa**

L'aléa effondrement localisé par rupture de pilier-couronne est défini en niveau moyen au droit des chantiers les moins profonds (tableau suivant).

Remarque : les zones TVX_II sont à la fois concerné par des fontis classiques et des effondrements localisés par rupture de pilier-couronne. L'affichage proposé sur les cartes d'aléa correspond à l'aléa majorant de type rupture de pilier-couronne.

[8] Dans le cas présent, il est apparu représentatif de ramener forfaitairement la profondeur seuil de ce type de phénomène de 50 m à 30 m afin de tenir compte des paramètres géologiques limitant que sont les épontes peu marquées et/ou irrégulières.

Travaux		Prédisposition aux eff loc	Intensité des eff loc	Niveau d'aléa
TVX_I (galeries), charbon et polymétalliques	Toute profondeur	-	Modérée à élevée	-
TVX_II (chantiers subverticaux) polymétalliques	Prof de 0 à 30 m	Peu sensible	Modérée à élevée	Moyen
	Prof > 30 m	Nulle	Modérée à élevée	-
TVX_III (dépilages/remblayage) charbon	Toute profondeur	-	Modérée à élevée	-

Tableau 14 : Synthèses des caractéristiques d'analyse de l'aléa effondrements localisés de type rupture de pilier-couronne

6.4.5 Effondrements localisés sur les zones potentiellement affectées par des travaux miniers

La plupart des travaux miniers traités dans cette étude ont été identifiés et localisés sur la base de plans de mine puis recalés avec plus ou moins de précision en fonction des orifices débouchant au jour ou d'autres indices, levés sur le terrain.

Quelques quartiers ou sites n'ont toutefois pas pu être précisément localisés malgré les descriptions et les données d'archive décrivant l'historique et les configurations de travaux (galeries isolées, recherches, zones d'exploitation anciennes). Ces travaux ont été définis en zones potentiellement affectées par des travaux miniers (paragraphes 4.3 et 5.4.3).

La démarche d'évaluation des aléas mouvements de terrain de type effondrements localisés dans ces zones est similaire à celle détaillée précédemment pour l'ensemble des travaux localisés mais la prédisposition va être dégradée. En effet, les incertitudes sur la localisation et sur les caractéristiques (L, l, h) des travaux, « réduisent » la probabilité d'occurrence du phénomène dans ces secteurs.

Dans ces conditions, un niveau d'aléa effondrement localisé de niveau faible est attribué à toute zone potentiellement affectée par des travaux miniers (afin d'intégrer la présence possible d'une ou plusieurs galeries, de puits ou de grattage).

6.5 Glissements sur les talus des dépôts

Les glissements constituent le type de désordres le plus couramment observé le long des flancs des ouvrages de dépôts, des digues minières et de certains versants de découvertes creusées en roche meuble. On distingue souvent :

Les glissements superficiels : il s'agit de phénomènes généralement lents et mettant en jeu des volumes de matériau restreints (quelques dizaines de m3). Ils prennent principalement la forme de glissements pelliculaires ou de rigoles de ravinement, parfois profondes, avec pour conséquence l'épandage de matériau en pied. Si les éboulis ne sont pas remaniés, la configuration redevient stable et l'instabilité cesse.

Les glissements profonds : ils résultent du mouvement d'une masse de terrain le long d'une zone de rupture définie par une surface continue (dont la forme peut être circulaire, plane ou quelconque) et dont la vitesse de déplacement, en phase critique, varie fréquemment de quelques millimètres à quelques mètres par heure. Les volumes concernés, qui peuvent s'avérer importants, se répandent vers l'aval sous forme de cônes d'épandage et peuvent être à l'origine de la dégradation des éventuels bâtis et ouvrages situés en pied. Il peut

également s'avérer nécessaire de s'attacher à caractériser les effets que ces mouvements de masse peuvent produire sur les terrains situés à l'amont du talus (effet de recul de crête).

Prédisposition des talus des dépôts aux glissements :

La prédisposition à ce type de mouvements de terrain dépend de la pente, de la nature des matériaux qui constituent les talus, de la végétalisation et de la configuration du terrain d'assise. Elle peut être aggravée par des mises en charge hydraulique locales et éventuellement par des phénomènes d'érosion et/ou des prélèvements anthropiques.

Dans le cas présent, aucun talus de dépôt ne présente de volume suffisant pour générer des phénomènes de type glissements profonds (talus de moins de 6 m de haut et des dépôts de quelques centaines de mètres cubes tout au plus). Ce type de phénomène est exclu de la suite de l'analyse.

La végétalisation de la quasi-totalité des dépôts, l'absence d'indice d'érosion et de ravinement ainsi que des pentes de talus de moins de 30° permettent d'exclure tout glissement superficiel des dépôts H2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12 13 et 14.

Ainsi, seuls les deux dépôts H1 (Verse entrée ODJ 2) et H7 (verses de Berchoux) doivent être considérés plus en détails.

Le dépôt H1 est constitué de blocs décimétriques, en partie cimentés et envahi par la végétation, de fait le dépôt H1 n'est pas sensible aux glissements et autres ravinements.

Le dépôt H7, certes végétalisé, est constitué de fines. Il présente en outre des talus aux pentes marquées (35° - 40°) et est le plus haut dépôt du bassin étudié (6 m). Sur la base de ces éléments, nous proposons de retenir ses flancs en prédisposition peu sensible à sensible aux glissements superficiels.

La seconde verse de Berchoux (H7b) n'étant plus présente aucune prédisposition au glissement ne lui est associé.

Intensité des glissements :

C'est le volume de matériau susceptible d'être mis en mouvement qui influe sur l'intensité de ces mouvements de pente.

Conformément aux caractéristiques et dimensions estimées (hauteurs et superficie) du dépôt 7, on retiendra comme possibles des petits ravinements ou des glissements superficiels de quelques mètres cubes tout au plus, soit une intensité très limitée à limitée.

Niveau d'aléa glissements :

L'aléa mouvement de pente est donc défini comme faible pour les talus du dépôt H7. Il n'y a pas d'aléa glissements sur les talus des autres dépôts recensés.

6.6 Tassements sur les dépôts

Prédispositions des dépôts aux tassements :

Parmi les principaux facteurs « classiques » de prédisposition aux tassements de dépôts, sont retenus :

- l'épaisseur du dépôt ;
- la nature et la granulométrie des matériaux déposés ;
- la méthode de mise en place du dépôt (avec ou sans compactage).

Bien qu'aucun tassement de dépôt n'ait été recensé (aucun suivi particulier n'a par ailleurs été réalisé), ce phénomène ne peut pas être totalement exclu notamment par suite de modifications des conditions hydrauliques ou par surcharge ponctuelle. La mise en place des dépôts étudiés ici, vraisemblablement assurée par simple déversement, ne garantit pas en outre une compaction complète.

Les épaisseurs des dépôts (comprises entre un mètre et une dizaine de mètres) ainsi que la granulométrie sont donc les paramètres principaux retenus pour évaluer la prédisposition de dépôts étudiés aux phénomènes de tassements.

Aussi, nous proposons :

- d'exclure tout tassement du dépôt H6 (monticule de moins d'un mètre de haut et de moins de 80 m² de superficie) et des dépôts en plaquage H4, 11, 13 (dépôts très superficiels sans épaisseur) ;
- de définir les dépôts H1, 2, 3 et 14 comme peu sensibles aux tassements (dépôts de blocs grossiers par nature peu sujets aux mécanismes de tassements) ;
- de définir les autres dépôts comme sensibles aux tassements (dépôts de fines ou de granulométrie hétérogène).

Intensité des tassements sur les dépôts :

Les conséquences redoutées résultent principalement du fait que la surface peut être affectée par des tassements différentiels qui sont susceptibles d'engendrer des effets sur les bâtiments et les infrastructures et généralement pas à mettre en danger les populations (conséquences « assez similaires » au phénomène naturel de retrait-gonflement de certains sols argileux).

En présence de tassements différentiels, c'est principalement l'amplitude verticale des mouvements qui conditionne l'intensité du phénomène prévisible. L'amplitude de ces tassements différentiels est difficile à prévoir précisément : sauf exception, elle demeure limitée à un ordre de grandeur centimétrique ou décimétrique tout au plus.

Niveau d'aléa tassements sur les dépôts :

Le niveau d'aléa tassements est défini comme faible sur les dépôts identifiés à l'exception des dépôts H3, 4, 6, 11, 13 sans tassement.

NB : La seconde verse de Berchoux (H7b) n'étant plus présente aucun aléa tassement ne lui est associé.

6.7 Cartographie des aléas

L'aléa est un concept spatial, il est évalué en tout point du secteur étudié et a donc vocation à être cartographié de manière à faire ressortir les secteurs les plus sensibles au développement des phénomènes redoutés.

Cette cartographie doit nécessairement prendre en compte :

- l'extension latérale possible des désordres initiés au sein des travaux miniers, des dépôts et des ouvrages. L'expérience montre en effet que les phénomènes redoutés ne se limitent pas à l'aplomb strict, en surface, des secteurs souterrains « sensibles » ou aux limites exactes de dépôts et des ODJ mais peuvent déborder, parfois très largement, sur des terrains adjacents ;
- intégrer également les incertitudes inhérentes aux géoréférencements des plans miniers disponibles et à la géolocalisation des ouvrages débouchant au jour (calage des plans miniers sur un fond topographique, incertitude des dGPS).

6.7.1 Aléa Effondrements localisés

La carte des aléas mouvements de terrain (comprenant l'aléa effondrements localisés) est présentée en annexe 5.

Remarques préalables :

Les types d'effondrement localisés analysés ont été reportés sur la même carte en gardant un affichage distinct pour :

- les effondrements localisés sur puits, d'une part ;
- les effondrements localisés « classiques » de type fontis ou de type rupture de pilier-couronne, d'autre part.

Remarque : les zones TVX_II sont à la fois concernées par des fontis classiques et des effondrements localisés par rupture de pilier-couronne. L'affichage proposé sur les cartes d'aléa correspond à l'aléa majorant de type rupture de pilier-couronne.

6.7.1.1 Effondrements localisés liés aux puits

Le rayon de la zone d'aléa RA est défini à partir du centre du puits RA=rp+I+E et comprend, [C] :

- le rayon du puits rp ;
- un rayon supplémentaire, I, correspondant à l'incertitude globale de localisation des puits à savoir, celle du support cartographique (BD-Ortho®) et celle de la localisation intrinsèque du puits (voir paragraphe 5.5.1 : 5 à 30 m) ;
- une marge supplémentaire, E, relative à l'extension latérale du cône d'effondrement :

$$E = hc \times \cotan(\alpha) = hc \times \tan(90° - \alpha), \text{ soit 1 à 3 m ici.}$$

avec hc l'épaisseur des terrains déconsolidés de subsurface, 1 m (mines polymétalliques) ou 3 m (mines de charbon), et α l'angle de talus naturels des terrains de subsurface, 45° retenu ici[9] (voir paragraphe 0 relatif à l'intensité des effondrements localisés sur puits).

[9] *Pour la cartographie des aléas, les extensions latérales retenues sont généralement les valeurs supérieures des extensions latérales retenues pour l'évaluation de l'aléa (tenant compte de l'évolution à long terme des cônes d'effondrement)*

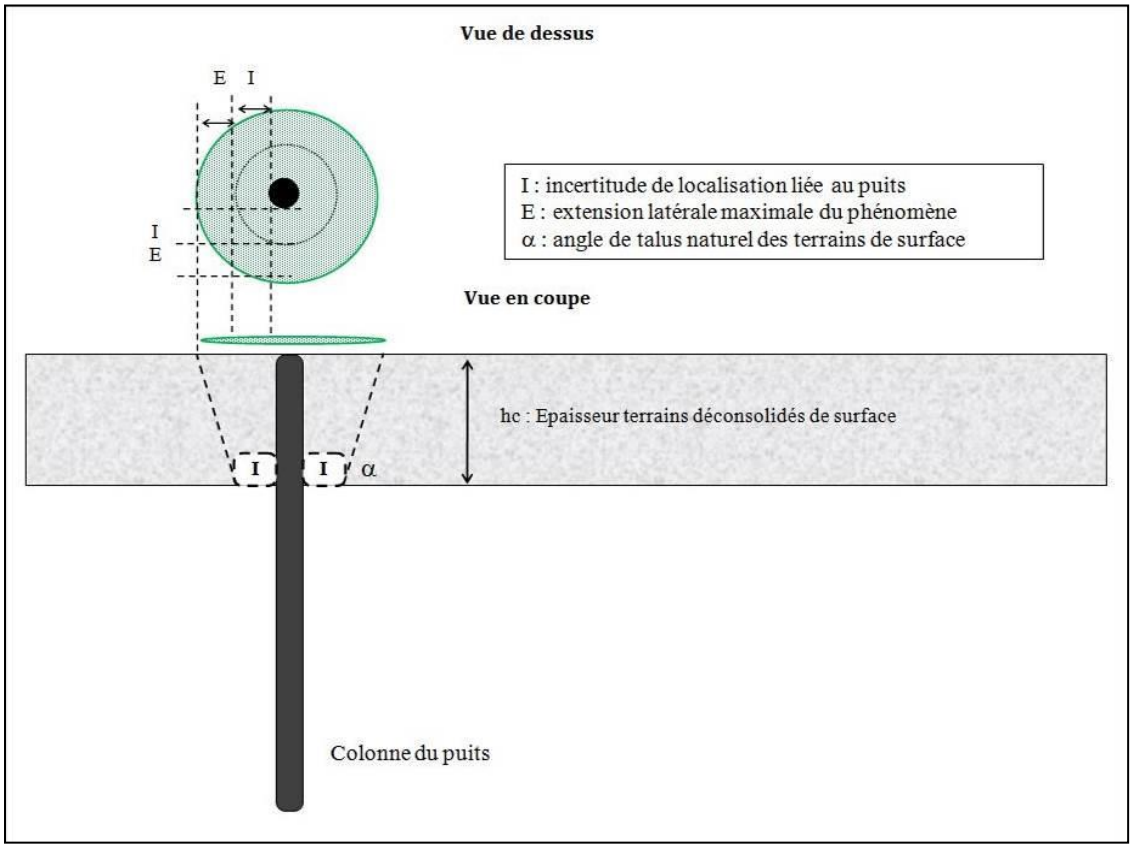


Figure 28 : Cartographie de l'aléa effondrement localisé (en vert) lié à un puits

6.7.1.2 **Effondrements localisés de type fontis**

Un raisonnement identique au précédent, permet de définir les marges de la zone d'aléa relative à un effondrement localisé de type fontis initié au toit d'une galerie sur sa portion située entre la surface et la profondeur seuil précédemment définie (ici 10, 25 ou 30 m Figure 29 suivante). Ces marges sont définies à partir du tracé des galeries issues du calage des plans miniers :

- I, incertitude globale de localisation des galeries, issue de celle du plan sur laquelle se trouve cet ouvrage (incertitude intrinsèque, incertitude liée à la reproduction du plan, incertitude liée à l'opération de calage et incertitude du fond BD-Ortho®). Les valeurs de cette marge varient de 8 à 33 m, voir paragraphe 5.4.2) ;
- E = 1 ou 3 m, marge supplémentaire relative à l'extension latérale du cône d'effondrement, calculé par rapport à l'épaisseur des terrains peu cohérents de surface et l'angle de talus naturel pris à 45° (voir précédemment pour les puits).

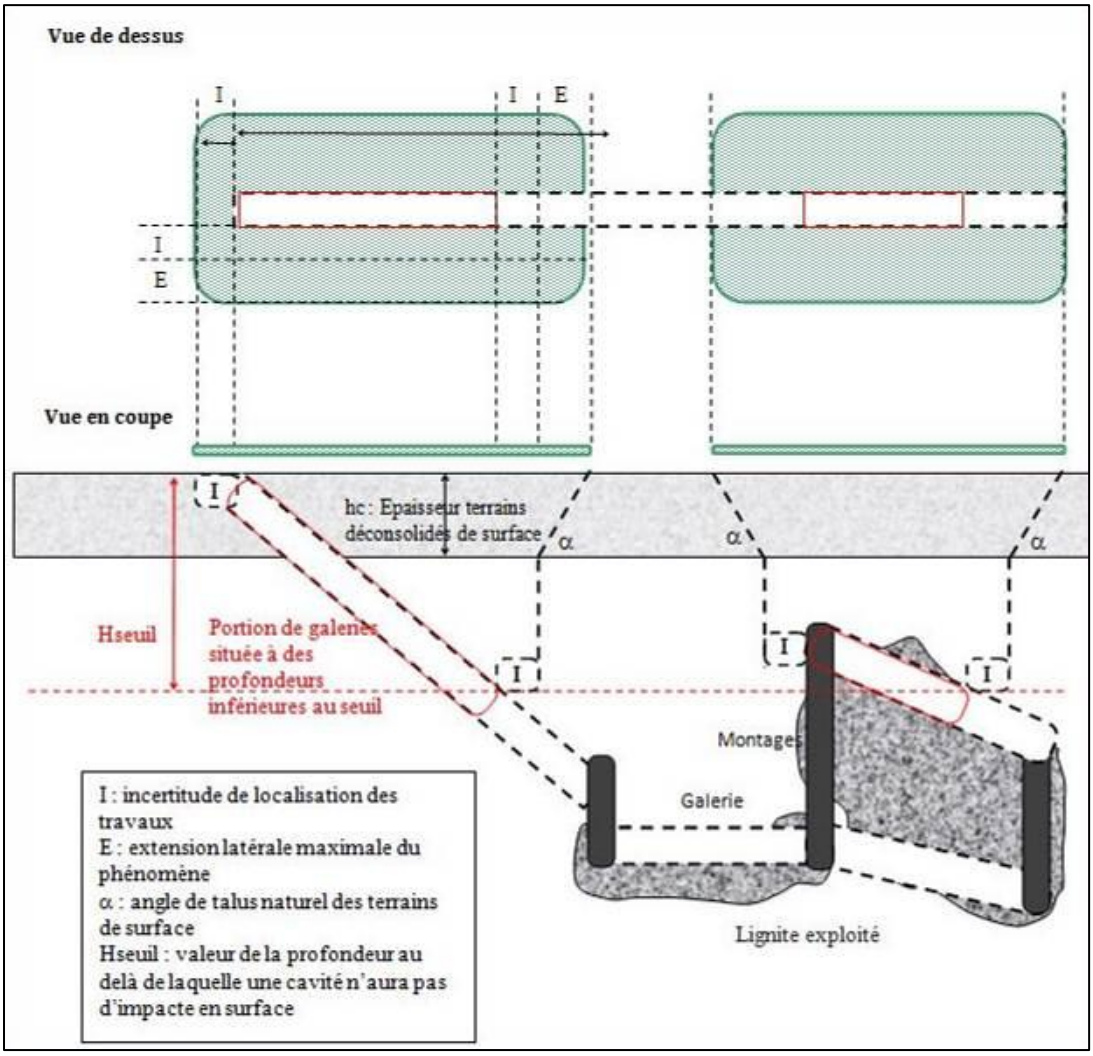


Figure 29 : Représentation schématique de la cartographie de l'aléa effondrement localisé (en vert) lié à la présence de galeries de type TVX_I

6.7.1.3 **Effondrements localisés par rupture de pilier-couronne**

En théorie, la cartographie des zones d'aléa effondrements localisés de type rupture de pilier-couronne est directement liée à la trace du contact filon/éponte en surface, Figure 30.

Dans le cas présent, nous ne disposons ni des représentations des voies de têtes ni des projections en surface des filons minéralisés. Aussi, compte tenu de la subverticalité des niveaux exploités, les zones d'aléa seront forfaitairement tracées à l'aplomb des voies de bases et/ou de tête connues et à faible profondeur (corrigée des incertitudes de position des travaux et des extensions d'aléa).

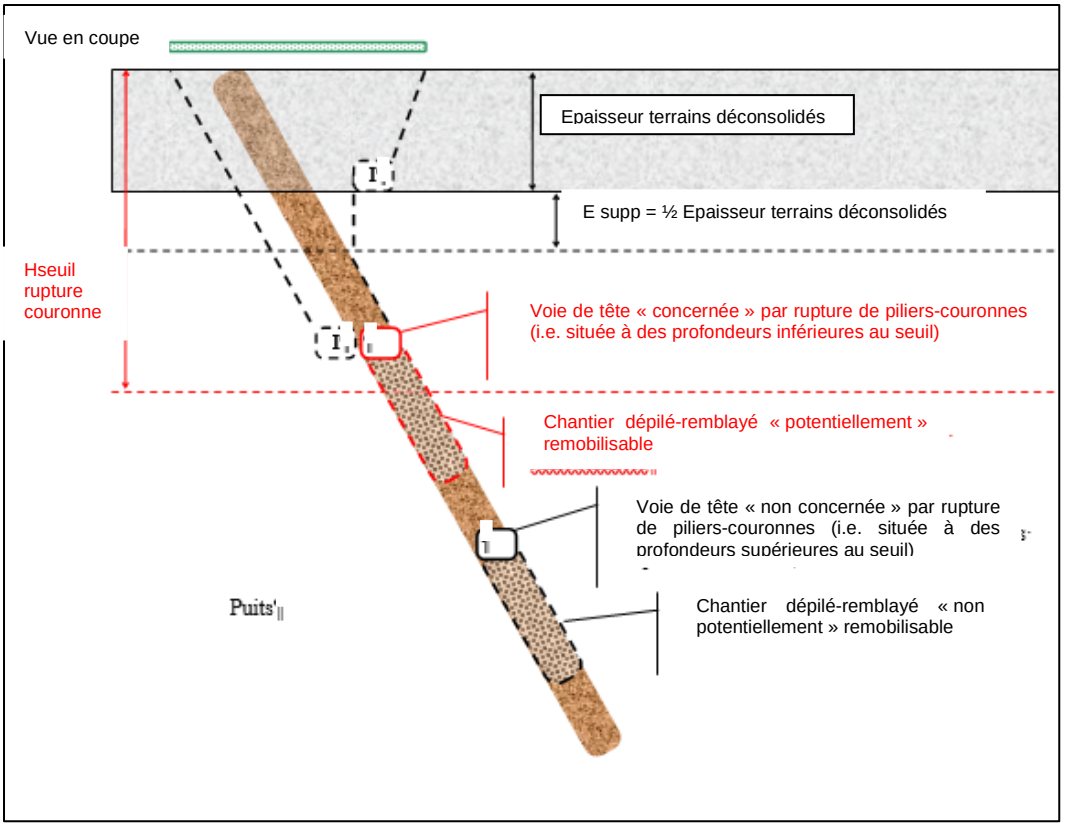


Figure 30 : Zonage théorique de l'aléa effondrement localisé par rupture de pilier couronne

6.7.1.4 Zones potentiellement affectées par des travaux miniers

Compte tenu des incertitudes et des approximations des tracés des enveloppes de ces zones (voir paragraphe 5.4.3), la zone d'aléa effondrement localisé correspond exactement aux limites de l'enveloppe de la zone potentiellement affectée par des travaux miniers (aucune marge supplémentaire n'est ajoutée).

6.7.2 Aléa Glissements sur (talus) de dépôts

Les éléments cartographiques de l'aléa glissement sont portés sur la carte d'aléa en annexe 5.

L'aléa glissements sur dépôts est généralement tracé à partir des emprises des talus des dépôts sensibles (lignes de crête et lignes de pied), en intégrant l'incertitude de positionnement, I, une marge d'extension aval et une marge de recul de crête (Figure 31).

Les valeurs communément retenues pour les marges d'extension sont de l'ordre de ½ hauteur de talus, [A].

Dans le cas présent, le dépôt H1 concerné ne dépasse pas 6 m de hauteur et les glissements redoutés sont des phénomènes très limités, quelques mètres cubes tout au plus. Une marge d'extension, E, de 2 m sera retenue forfaitairement.

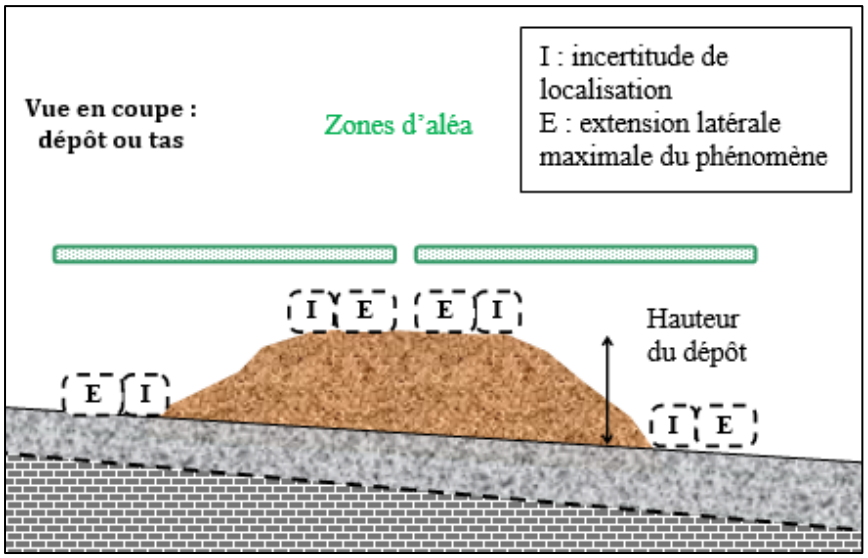


Figure 31 : Zonage de l'aléa glissements sur un dépôt, Ineris

6.7.3 Aléa Tassements sur dépôts

Les éléments cartographiques de l'aléa tassements sont portés sur la carte d'aléa en annexe 5.

La zone d'aléa relative aux tassements sur dépôt tient compte d'une seule marge. Cette marge est liée à l'incertitude de position correspondant à l'emprise du dépôt. En effet, les tassements se manifestant au droit exact des dépôts, il n'y a pas de marge d'extension latérale pour ces phénomènes, [A]. Dans le cas présent, deux valeurs de 5 m ou 10 m ont été retenues pour qualifier l'incertitude de localisation des dépôts.

6.8 Éléments de synthèse à retenir

Les différents niveaux d'aléa retenus et définis pour les 3 phénomènes : effondrements localisés (fontis, sur puits ou sur galeries, et rupture de pilier-couronne sur chantiers subverticaux), glissements et tassements sur dépôts sont synthétisés par type d'ouvrage minier ci-après. Tout autre type d'aléa mouvements de terrain a été écarté de la liste des phénomènes possibles.

Phénomène attendu	Détails sites / travaux / configurations	Prédisposition	Intensité	Aléa	Communes concernées
Effondrement localisé lié aux puits	Les puits ouverts (n°3 et 6)	Sensible	Limitée	Faible	Le Perréon
	Les puits les plus profonds (n°20 et 24)	Sensible	Modérée	Moyen	Sainte-Paule
	Puits 13	Très sensible	Limitée	Moyen	Ternand
	Les autres puits en contexte charbonneux	Peu sensible	Modérée	Faible	Sainte-Paule
	Les autres puits polymétalliques	Peu sensible	Limitée	Faible	Le Perréon, Vaux en Beaujolais
Effondrement localisé de type fontis sur galeries	TVX_I (galeries), polymétalliques Prof de 0 à 10 m	Sensible	Limitée	Faible	Vaux en Beaujolais
	TVX_I (galeries), polymétalliques Prof > 10 m	Nulle	Limitée	-	
	Entrées de la galerie 10 et de la galerie 15	Très sensible	Limitée	Moyen	Vaux en Beaujolais, Ternand
	TVX_II (chantiers subverticaux) polymétalliques, Prof de 0 à 25 m	Peu sensible	Limitée	Faible	Vaux en Beaujolais
	TVX_II (chantiers subverticaux) polymétalliques, Prof > 25 m	Nulle	Modérée	-	
	TVX_III (dépilages/remblayage) et TVX_I (galeries) charbon Prof de 0 à 30 m	Peu sensible	Modérée	Faible	Sainte-Paule
	TVX_III (dépilages/remblayage) et TVX_I (galeries) charbon Prof > 30 m	Nulle	Modérée	-	
Effondrement localisé lié à la rupture du pilier-couronne	TVX_I (galeries), charbon et polymétalliques. Toute profondeur	-	Modérée à élevée	-	
	TVX_II (chantiers subverticaux) polymétalliques, Prof de 0 à 30 m	Peu sensible	Modérée à élevée	Moyen	Vaux en Beaujolais
	TVX_II (chantiers subverticaux) polymétalliques, Prof > 30 m	Nulle	Modérée à élevée	-	
	TVX_III (dépilages/remblayage) charbon Toute profondeur	-	Modérée à élevée	-	
Effondrement localisé sur zones potentiellement affectées par des travaux miniers		Peu sensible	Limitée	Faible	Sainte-Paule, le Perréon
Mouvement de pente sur dépôts (glissement)	H7	Peu sensible à sensible	Très Limitée à Limitée	Faible	Vaux en Beaujolais
	Autres dépôts	-	-	-	
Tassement lié aux dépôts	H6, 4, 11 et 13	-	-	-	
	H1, 2, 3 et 14	Peu sensible	Limitée	Faible	Le Perréon, Ternand
	Autres dépôts	Sensible	Limitée	Faible	Vaux en Beaujolais, Ternand

Tableau 15 : Synthèse des aléas mouvements de terrains retenus, analysés et cartographiés

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Tableaux généraux (documents d'archive utilisés, caractéristiques des indices)	8 A4
Annexe 2	Aperçus des plans d'archive représentatifs	11 A4
Annexe 3	Planches photographiques (terrain)	6 A4
Annexe 4	Carte informative	6 Hors format
Annexe 5	Carte des aléas	4 Hors format

Annexe 1 :

Tableaux généraux (documents d’archive utilisés, caractéristiques des indices)

Id.	Titre	Titres / Sites / Quartier minier	Descriptif	Date	Lieu d'archivage	Référence archives
1	Rapport de l'Ingénieur des Mines. Recherches de mines métalliques sur les communes de Vaux et du Perréon. Demande obtention permis de vente.	hors titre	Document décrivant succinctement l'activité minière sur les sites de Berchoux, la Creuse et le Bout-du-Monde.	23/11/1908	AD69	S1793
2	Recherches du Bout-du-Monde // 673-3x.4001	hors titre	Document d'une page décrivant les travaux de recherche du Bout-du-Monde et relatant une recherche par tranchée au hameau de Grange Goyet. Date du document estimé à 1908.	NR	BSS	3-4001
3	Fiche de Gîte et d'Indice de Champtouly ou Pierreplate.	hors titre	Synthèse des caractéristiques géologiques et un historique succinct des travaux miniers.	1981	BSS	3-4004
4	Pierreplate // 673-3x-4004 // XXIX.30/3	hors titre	Fiche synthétique du gite de Pierreplate fournissant les caractéristiques géologiques et un historique succinct des travaux miniers.	NR	BSS	3-4004
5	Rapport de l'Ingénieur des Mines. Concession des mines de Berchoux. Demande en renonciation.	Berchoux	Rapport décrivant l'historique des travaux sur le site de la Creuse et de Berchoux (…) + condition de fermeture?	30/12/1931	AN	F14-18660
6	Société des Mines et produits chimiques de Villefranche-sur-Saône - Mémoire sur la concession de Berchoux.	Berchoux	Document dressant un historique détaillé des travaux du site de Berchoux et un historique succinct du site de la Creuse.	20/05/1931	AN	F14-18660
7	Fiche de Gîte et d'Indice de la Creuse.	Berchoux	Synthèse des caractéristiques géologiques et un historique succinct des travaux miniers.	1981	BSS	3-4003
8	IV-Le gite du Glabat (La Creuse) // 673 3x 4003. Extrait (page 73 à 75) du rapport de Carrie (Service des Mines de Lyon).	Berchoux	Description des travaux miniers et du gite.	1963	BSS	3-4003
10	Demande en renonciation à la concession de Berchoux. Procès-Verbal de visite de l'Ingénieur TPE	Berchoux	État des ouvrages débouchant au jour en 1931.	21/11/1931	AN	F14-18660
11	Fiche de Gîte et d'Indice des Espagne	les Espagnes	Synthèse des caractéristiques géologiques et un historique succinct des travaux miniers.	1981	BSS	4-4001
12	Espagne // 673-4x-4001 // XXIX.30/7	les Espagnes	Document synthétique d'une page fournissant un bref historique des travaux et une coupe des travaux de J. Paquier. Date estimée vers 1855.	NR	BSS	4-4001
13	Rapport de l'Ingénieur en chef. Demande en renonciation à la concession des mines des	les Espagnes		27/07/1924	AN	F14-18660

Id.	Titre	Titres / Sites / Quartier minier	Descriptif	Date	Lieu d'archivage	Référence archives
	Espagnes.					
14	Fiche de Gîte et d'Indice Sornel (ou Lettra)	hors titre	Synthèse des caractéristiques géologiques et un historique succinct des travaux miniers.	1981	BSS	7-4001
15	Lettra // 673-4x-4001 // XXIX.30/9	hors titre	Document synthétique d'une page fournissant un bref historique des travaux et une représentation schématique des entrées de galerie.	NR	BSS	7-4001
16	Rapport général sur les mines en 1896 (Rhône)	hors titre	Mention de recherche de pyrite à Letra.	1896	AD69	S1800
17	Rapport général sur les mines en 1895 (Rhône)	hors titre	Mention de recherche de pyrite à Letra.	1895	AN	F14-8341
18	Habitations sur dépôts miniers : Secteur minier des Ardillats (69) Concession de Ternand. Investigation environnementales selon la démarche IEM.	Ternand	Étude environnementale du dépôt de Ternand. Phase informative (historique travaux) utilisée.	2017	Ineris	DRC-15-154248-11888B
19	Demande en concession de mine présenté par la Société anonyme des mines de Ternand. Rapport de l'Ingénieur des Mines.	Ternand	Description du gisement et des travaux miniers réalisés jusqu'à 1909.	1909	AN	F14-18660
20	Demande en renonciation à la concession des mines de plomb argentifère de Ternand.	Ternand	Description du gisement et de l'ensemble des travaux miniers réalisés.	1928	AN	F14-18660
21	Procès-Verbal de visite des mines de Ternand.	Ternand	Visite réalisée dans le cadre de la demande en renonciation. Information sur l'état des travaux et ouvrages après l'abandon des travaux.	1928	AN	F14-18660
22	Écho des Vulcains - Dimanche 31 janvier - Mine de Ternand	Ternand	Article décrivant l'exploration de la mine de Ternand faite en 2016. Publié par l'association de spéléologue, auteur : B. Lips.	2016	GEODERIS	
23	Fiche de Gîte et d'Indice de Gonnin.	Ternand	Synthèse des caractéristiques géologiques et mention très succinct d'une ancienne recherche.	1981	BSS	7-4007
24	Recherches de mines de Plomb argentifère de Ternand. Rapport de l'Ingénieur des Mines.	Ternand	Ce rapport cite la recherche de Gonnin ou Crêt de Bruyères.	1909	AD69	S1793
25	Recherches de mines de Plomb argentifère de Ternand. Rapport de l'Ingénieur des Mines.	Ternand	Ce rapport cite l'abandon de la recherche de Gonnin ou Crêt de Bruyères.	1911	AD69	S1793
26	Recherche de mines de houille de Sainte-Paule. Procès-Verbal de visite.	Sainte-Paule / Gleizé	Document décrivant les derniers travaux réalisés (postérieurs aux plans retrouvés) sur le site de	1905	DREAL	Dossier Sainte-

Id.	Titre	Titres / Sites / Quartier minier	Descriptif	Date	Lieu d'archivage	Référence archives
			Gleizé. Observations consécutives aux visites d'octobre et décembre 1904.			Paule
27	Recherche de mines de houille de Sainte-Paule. Procès-Verbal de visite.	Sainte-Paule / Gleizé	Description des travaux consécutive aux visites de juin et décembre 1903. Plan des travaux associé au document (plan 23).	1903	DREAL	Dossier Sainte-Paule
28	Recherche de mines de houille de Sainte-Paule. Procès-Verbal de visite.	Sainte-Paule / Gleizé - Félines	Description des travaux des sites de Gleizé et Félines suite aux visites de novembre et décembre 1902.	1902	DREAL	Dossier Sainte-Paule
29	Recherche de mines de houille de Sainte-Paule. Procès-Verbal de visite.	Sainte-Paule / Gleizé - Félines	Description des premiers travaux entrepris sur le site de Gleizé et des travaux poursuivis sur Félines suite à une visite de novembre 1900.	1900	DREAL	Dossier Sainte-Paule
30	Rapport de l'Ingénieur des Mines.	Sainte-Paule / Félines-Vallon de Mussy	Rapport consécutif à la visite du 2 juin 1894 du site de Félines. Description des travaux repris à Félines et des recherches en cours à Mussy. Plan 28 associé à ce rapport.	1895	DREAL	Dossier Sainte-Paule
31	Rapport de l'Ingénieur des Mines.	Sainte-Paule / Félines-Vallon de Mussy	Historique des travaux et état d'avancement des recherches sur le site de Félines.	1917	DREAL	Dossier Sainte-Paule
32	Travaux de recherche de houille Société des houillères de Sainte-Paule. Procès-verbal de visite du subdivisionnaire.	Sainte-Paule / Félines	Historique des travaux et description des travaux de reprise en cours.	1948	DREAL	Dossier Sainte-Paule
33	Lettre de l'Ingénieur des Mines. Recherches de mines de Ste-Paule, Obturation de la descenderie.	Sainte-Paule / Félines	Demande de traitement de l'orifice d'une descenderie ouverte, constat de 1952 (relance de 1919).	1952	DREAL	Dossier Sainte-Paule
34	Houille - Commune de Ste-Paule - 4ieme inspection.	Sainte-Paule / Vallon de Mussy	Mémoire sur les travaux de recherche réalisés. Document relatant les plus anciens travaux répertoriés.	1784	AN	F14-7856
35	Habitations sur dépôts miniers : secteur minier des Ardillats (69) Concession de Berchoux : - Investigations environnementales selon la démarche IEM	Berchoux	Évaluer la compatibilité des usages liés aux habitations présentes au droit des dépôts avec l'état des milieux. Au préalable, la consultation des archives a été réalisée par l'Ineris.	2017	Ineris	Ineris-DRC-15-154248-11889C

Tableau 16 : Liste et références des archives consultées

ID	Titre	Site / Quartier minier	Descriptif	Échelle	Date	Lieu d'archivage	Référence archives	Géoréf. (O/N)	Format (scan/photo)
1	Recherche du Bout-du-Monde. Plan des travaux	Bout-du-Monde	Plan des travaux du site du Bout du Monde. Indications manuscrites sur l'historique des travaux.	1/2000	NR	BSS	3-4001	O	scan
2	Bout du Monde XXIX-30/4 Plan&Coupe	Bout-du-Monde	Plan et coupe des travaux du site du Bout du Monde (sur plusieurs feuilles). Date du document estimé à 1908.	1/500	NR	BSS	3-4001	O	scan
3	CRAM Beaujolais. Secteur du Bout du Monde - Géochimie	Pierreplate (Champtouly)	Plan cadastral avec situation des prospections géochimique réalisées dans les années 70. Vieux travaux du filon de Champtouly (ou Pierreplate) reportés sur le document (1 puits + 1 entrée de galerie).	1/2000	1973	SGR Lyon	69-GL-180	O	photo
4	Recherche de la Creuse - Plan des Travaux	La Creuse (Galbat)	Plan et coupes des travaux du site de la Creuse. Date du document estimée vers 1930 (renonciation).	1/2000	NR	AN	F14-18660	O	photo
5	Société des mines et produits chimiques de Villefranche-sur-Saône. Plan minéro-géologique des mines de Berchoux.	Berchoux	Plan complet des travaux réalisés sur la mine de Berchoux. Coupe des travaux.	1/500	1917	AN	F14-18660	O	photo
6	Plan des travaux du gîte de la Planche (ou Berchoux). Extrait du rapport de Carrie (Service des Mines de Lyon).	Berchoux	Plan synthétique des travaux de la mine de Berchoux.	1/700	1963	BSS	3-4002	O	scan
7	Gite de la Planche (Berchoux) - Coupe O-E passant par la lentille n°2. D'après rapport Carrie.	Berchoux	Coupe synthétique et annotée des travaux de la mine de Berchoux.	1/700	1963	BSS	3-4002	N	scan
8	Plan de la demande en concession des Espagnes	Les Espagnes	Plan topographique de surface indiquant l'emprise de la concession et situant approximativement le site des recherches.	1/10000	1827	AN	F14-18660	N	photo

ID	Titre	Site / Quartier minier	Descriptif	Échelle	Date	Lieu d'archivage	Référence archives	Géoréf. (O/N)	Format (scan/photo)
9	Extrait d'un document synthétique de la BSS "Espagne // 673-4x-4001 // XXIX.30/7" [12] - Coupe des Travaux de J. Paquier	Les Espagnes	Coupe schématique fournissant un aperçu de l'étendu des travaux. Date estimée vers 1855.	NR	NR	BSS	4-4001	N	scan
10	Plan annexé à la demande de permis de vente de la Vve Leger (1873)	Ternand	Plan de localisation des 2 galeries et du puits de Leger, recherches de 1873.	1/2500	1910	AN	F14-18660	N	photo
11	1ere Galerie Léger	Ternand	Plan précis de la galerie 1 de Leger . Document retenu pour la cartographie de cet ouvrage.	1/100	1910	AN	F14-18660	O	photo
12	2e Galerie Léger	Ternand	Plan précis de la galerie 2 et du puits de Leger . Document retenu pour la cartographie de cet ouvrage.	1/100	1910	AN	F14-18660	O	photo
13	Société des mines de Ternand. Coupe des travaux.	Ternand	Coupe schématique de l'ensemble des travaux réalisés. Indication galerie au jour immédiatement en aval de la route départementale.	1/1000	1927	AN	F14-18660	N	photo
14	Société des mines de Ternand. Plan d'ensemble des travaux.	Ternand	Plan synthétique des travaux. Document estimé peu fiable "cartographiquement", différences notables avec le plan 16 de 1909 et les relevés des spéléologues (plan 18).	1/1000	1927	AN	F14-18660	O	photo
15	Coupe verticale des travaux. Extrait Procès-Verbal de visite.	Ternand	Coupe représentant les panneaux entièrement exploités, et les ouvrages débouchant au jour.	1/1000	1928	AN	F14-18660	N	photo
16	Plan des recherches de mines de Ternand. Pièce n°4	Ternand	Annexe 1 du rapport de demande en concession. Plan synthétique de l'ensemble des travaux avec plusieurs coupe transversales. Document retenu pour la cartographie des travaux profonds (estimé plus fiable que le plan 14).	1/2000	1909	AN	F14-18660	O	photo

ID	Titre	Site / Quartier minier	Descriptif	Échelle	Date	Lieu d'archivage	Référence archives	Géoréf. (O/N)	Format (scan/photo)
17	Société des Mines de Ternand. Plan relatif à l'établissement d'une dynamitière provisoire.	Ternand	Plan représentant les niveaux 0 et +8 par rapport à surface. Document peu utilisé pour la cartographie.	1/500	1908	GEODERIS	S 2006/58DE-06RHA2100	O	scan
18	Relevé topographique des travaux miniers souterrains de Ternand du 31/01/2016 mis à jour en mai 2017 (Lips, 2017)	Ternand	Plan et coupe détaillé des travaux exploré par des spéléologues. Plan retenu pour la cartographie des travaux peu profonds.	1/1000	2017	GEODERIS	S 2018/046DE-18RHA24030	O	photo
19	Positions des découvertes faites à l'extérieur par la société Anonyme des Mines de Ternand.	Ternand	Plan à l'échelle de la concession localisant des affleurements reconnus par tranchées et une recherche par descenderie (site de Gonnin ou Crêt des Bruyeres).	1/10000	1909	AN	F14-18660	O	photo
20	Plan annexé à ma demande en concession déposée le 23 février 1902	Sainte-Paule	Plan de surface indiquant les limites de la concession demandée et localisant différents points de recherche minière.	NR	1902	DREAL	Dossier Sainte-Paule	N	photo
21	Recherche de mines de Ste-Paule. Croquis des travaux de Gleizé.	Sainte-Paule / Gleizé	Plan très schématique des travaux.	NR	NR	DREAL	Dossier Sainte-Paule	N	photo
22	Société Anonyme des Mines de houille de Ste-Paule.	Sainte-Paule / Gleizé	Plan des travaux du site de Gleizé associé au rapport du 31 décembre 1903. Représentation indicative de l'avancement des travaux.	1/1000	1903	DREAL	Dossier Sainte-Paule	N	photo
23	Recherches d mines de houille de Ste-Paule - Procès-verbal de Visite.	Sainte-Paule / Gleizé	Croquis des travaux représenté sur le procès-verbal de visite [27]. État des travaux au 31 décembre 1903.	1/1000	1903	DREAL	Dossier Sainte-Paule	N	photo
24	Société l'air liquide - Recherches de Ste-Paule - Travaux de Gleizé	Sainte-Paule / Gleizé	Plan de travaux sans situation en surface et ne montrant aucune correspondance avec les autres plans de ce site.	1/500	1919	DREAL	Dossier Sainte-Paule	N	photo
25	Société d'air liquide - Recherches de Ste-Paule (houille) - Travaux de Félines	Sainte-Paule / Félines	Plan des travaux	1/500	1919	DREAL	Dossier Sainte-Paule	O	photo

ID	Titre	Site / Quartier minier	Descriptif	Échelle	Date	Lieu d'archivage	Référence archives	Géoréf. (O/N)	Format (scan/photo)
26	Mine de houille de Ste-Paule	Sainte-Paule / Félines	Plan des travaux de 1915 avec quelques éléments de surface et un carroyage. Plusieurs "ancien puits" sont représentés.	NR	1915	DREAL	Dossier Sainte-Paule	O	photo
27	Mines de houille de Ste-Paule - Rhône	Sainte-Paule / Félines	Plan des travaux début 1916 avec indications manuscrites sur d'autres recherches (Gleizé, Mussy).	NR	1916	DREAL	Dossier Sainte-Paule	O	photo
28	Visite du 9 juin 1894. recherches de mines de houille à Ste-Paule [30].		Plan succinct (à main levée) des travaux entrepris lors de la reprise de travaux en 1894.	NR	1894	DREAL	Dossier Sainte-Paule	O	photo
29	Plan du périmètre de la demande en concession de la mine de charbon.	Sainte-Paule	Localisation d'un puits en exploitation sur le site de Félines.	1/1000	1826	AD69	S1795	N	photo

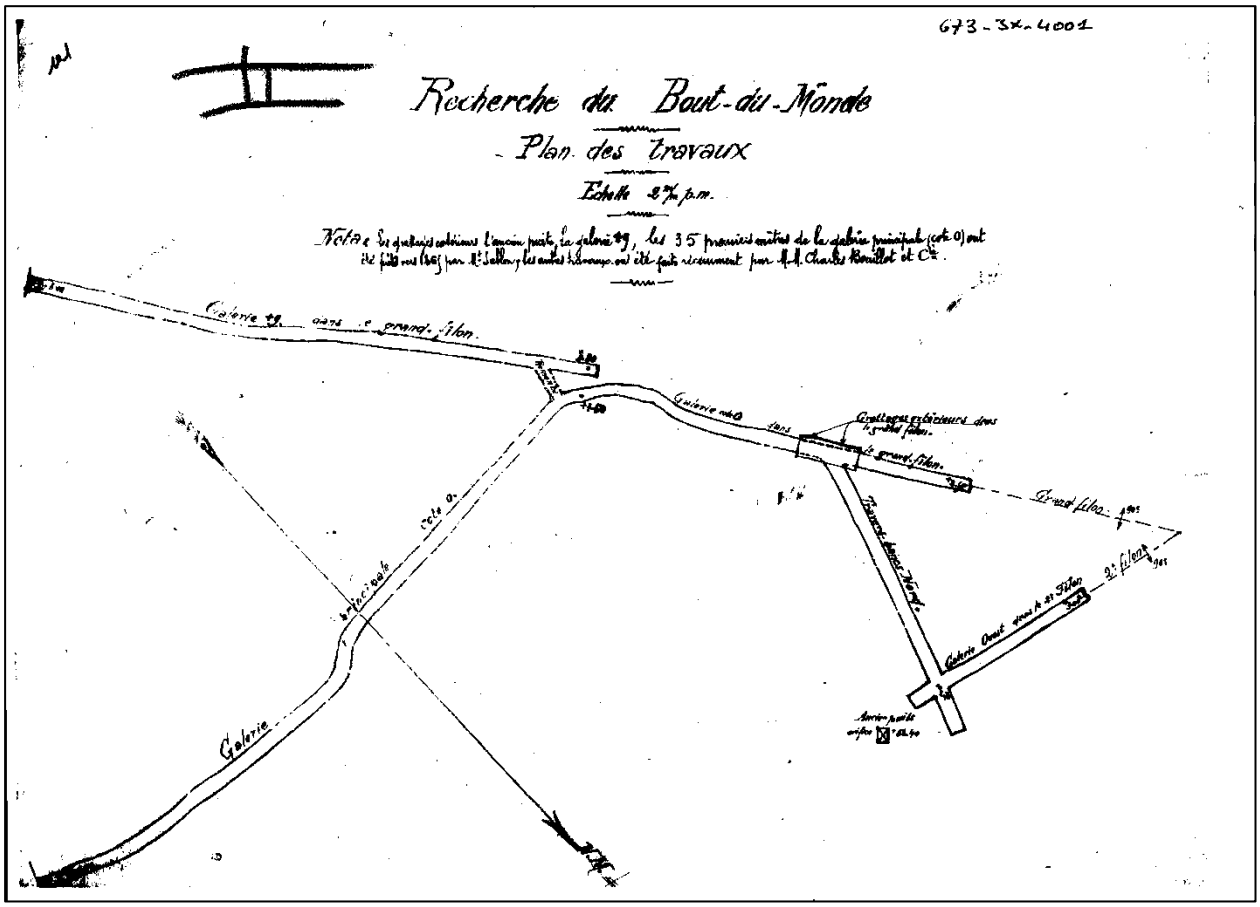
Tableau 17 : Liste et références des plans utilisés

Id	Site / Quartier	Catégorie	Observation	Autres
ID1	Bout du Monde	Observé	résurgence entrée 1	s.o
ID23	Bout du Monde	Observé	Excavation de 3 m de diamètre et 1 m de profondeur	possible désordre lié aux travaux du puits 4
ID10	Sainte-Paule	Relaté	puits d'après plan 20 de 1902	aucune trace en surface
ID11	Sainte-Paule	Relaté	puits de recherche d'après plan20 de 1902	aucune trace observée en surface
ID12	Sainte-Paule	Relaté	Récit d'un "trou" qui tasse régulièrement...	non vu
ID13	Sainte-Paule / Gleizé	Relaté	puits de recherche vers 1915	non vu
ID14	Sainte-Paule / Gleizé	Observé	D'après ortho1950, traces terrain chahuté	Probable travaux plan 24 de 1914 - entrée 27
ID15	Sainte-Paule / Félines	Observé	résurgence entrées 16-17	s.o
ID24	Sainte-Paule / Félines	Observé	excavation muraillée de 6x4x1m de profondeur	Vestige minier (bassin ?) ou orifice puits 23 (?)
ID16	Pierreplate	Observé	grattage sur affleurement filon	2x2x1m de profondeur
ID17	Pierreplate	Observé	grattage rempli de branches (à l'affleurement du filon)	En 1970 dit "petit puits" de 2,5m de profondeur
ID18	Les Espagnes	Observé	ancienne carrière grès rouge (en gradins)	s.o
ID19	Gleizé	Observé	dépression	Lien avec descenderie supposé
ID2	Berchoux-la-Creuse	Observé	résurgence entrée 7	s.o
ID20	Ste-Paule/Vallon de Mussy	Observé	petit monticule de dépôt	origine minière incertaine
ID25	Ste-Paule/Vallon de Mussy	Relaté	Petite verse de dépôts relatée par un habitant	Non retrouvée
ID26	Ste-Paule/Vallon de Mussy	Relaté	D'après habitant, un monticule de dépôt était présent. Réutilisé comme matériau, monticule aujourd'hui entièrement arasé/disparu	Aucune trace retrouvée
ID3	Berchoux	Relaté	position chapeau de fer	possible ancienne fouille 18ieme siècle
ID22	Berchoux	Observé	résurgence entrée 10	s.o
ID4	Les Espagnes	Observé	plate-forme / dépôts(?)+talus suspect	possible position entrée galerie inférieure
ID5	Les Espagnes	Observé	dépression de 5x5x1.5	s.o
ID21	Les Espagnes	Observé	verse de dépôts en tout genre et petite excavation.	possible position vieux travaux
ID6	Letra	Relaté	2 descenderies espaces de 1 m (1850/1900)	aucune trace retrouvée en surface.
ID7	Ternand	Relaté	1 galerie (éboulée en 1981) + halde (1981) + 1 tranchée	points BSS 7-4007 (site Gonnin)
ID8	Les Espagnes	Relaté	au moins 4 ODJ (coupe 9)	plusieurs indices relevés, aucun probant
ID9	Félines	Observé	tranchée	

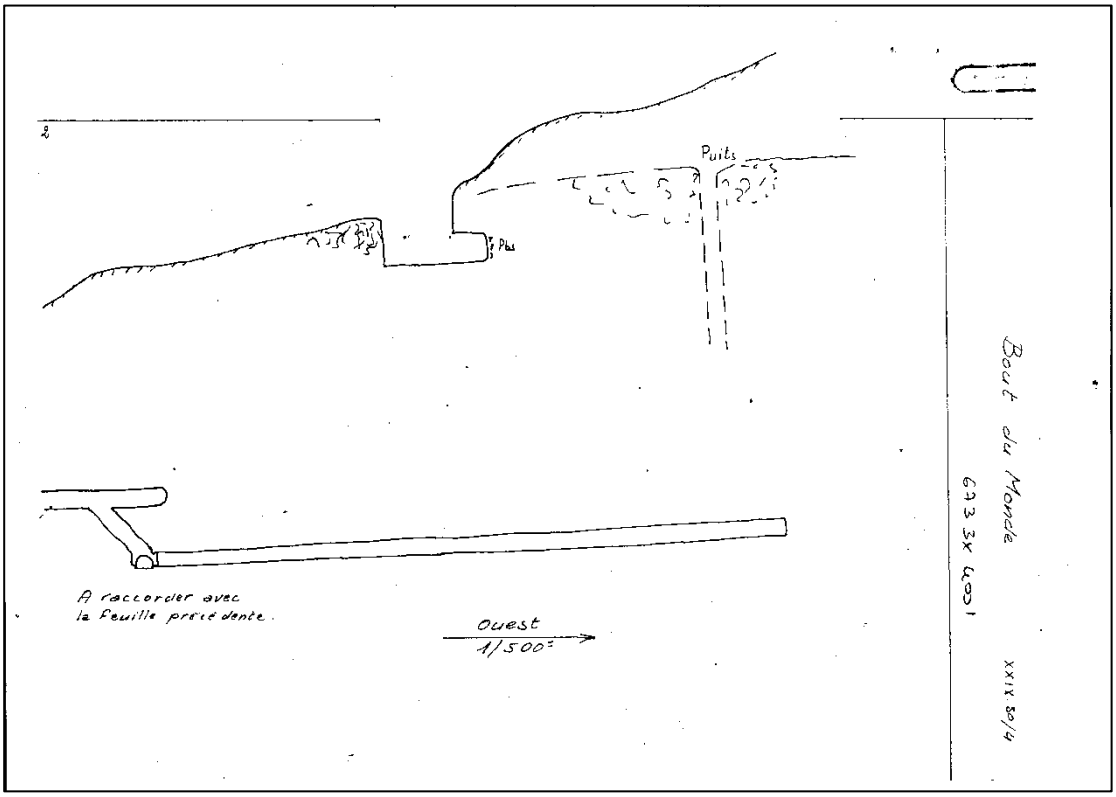
Tableau 18 : Détails des indices miniers relevés

Annexe 2 :

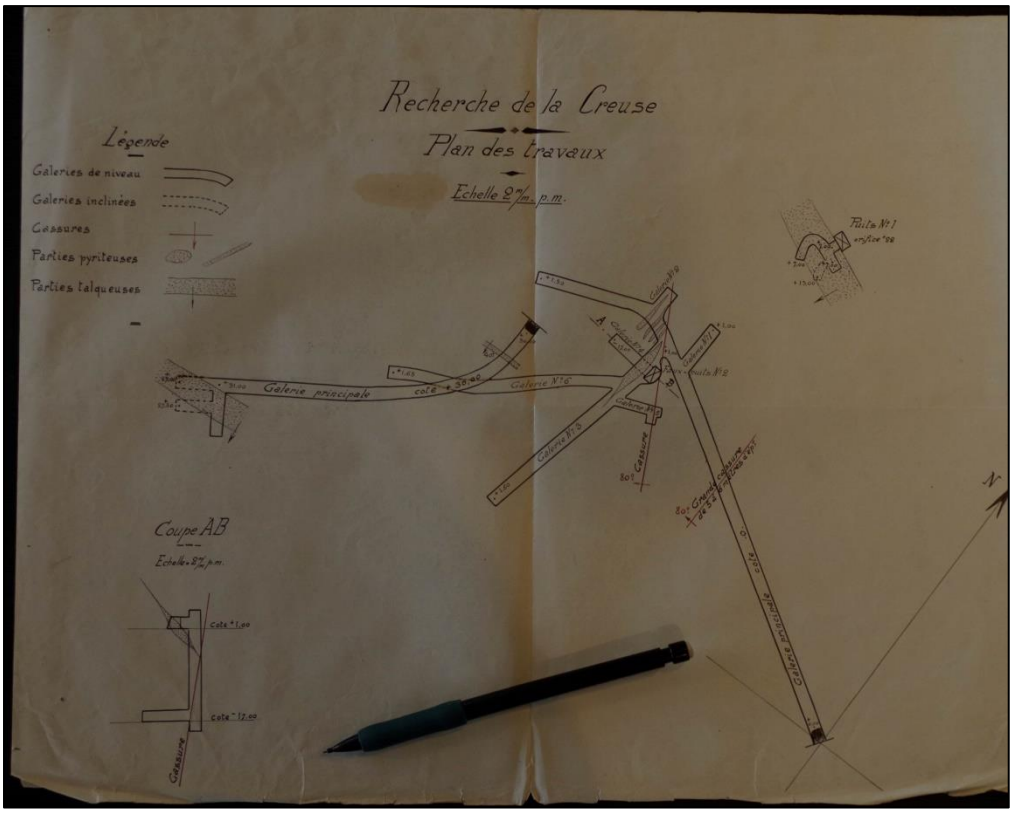
Aperçus des plans d’archives représentatifs


673-3X-4001
Recherche du Bout-du-Monde
Plan des travaux
Echelle 2 m/m p.m.
Galerie +9 dans le grand filon
Galerie principale cote 0
Galerie
Grand filon
2e filon
Galerie Ouest dans le 2e filon
Travers bancs Monde
Ancien puits

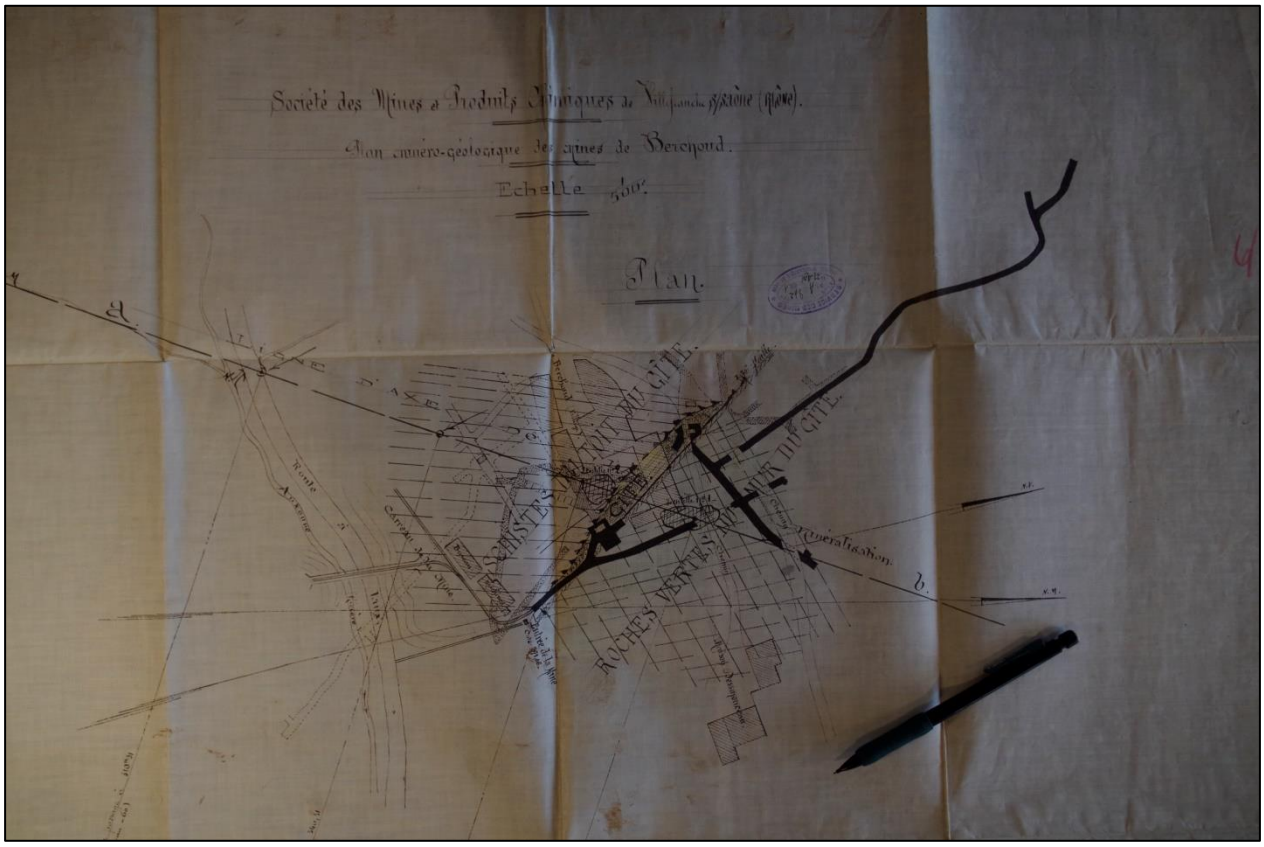
Plan 1


Puits
Pbs
A raccorder avec
la feuille précédente.
Ouest
1/500e
Bout du Monde
673 3X 4001
XXIX 80/4

Plan 2


Recherche de la Creuse
Plan des travaux
Légende
Galeries de niveau
Galeries inclinées
Cassures
Parties pyriteuses
Parties talqueuses
Puits N°1
Galerie principale
Galerie N°6
Galerie N°5
Cassure
Coupe AB
Cassure

Plan 4


Plan.
Minéralisation

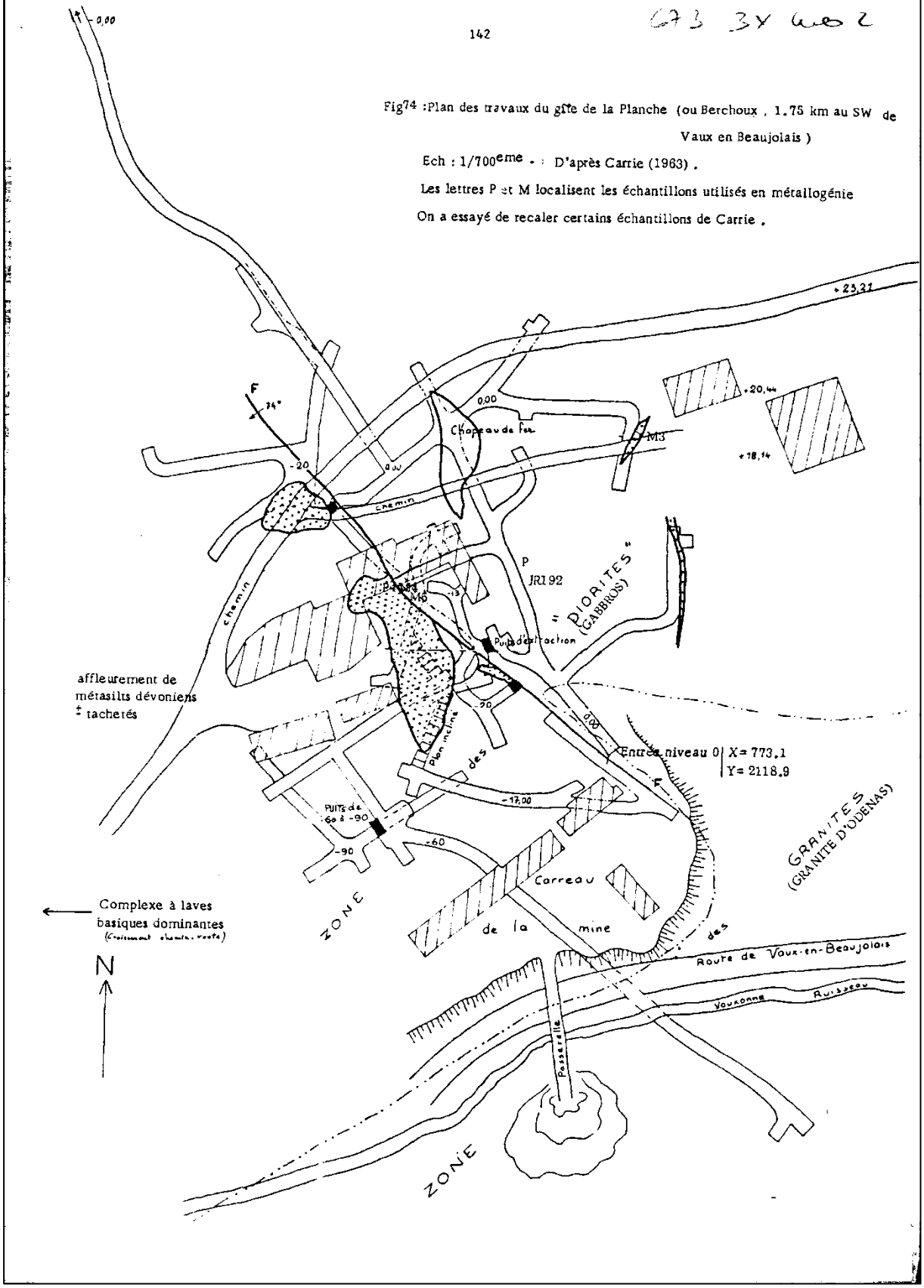
Plan 5

Fig74 :Plan des travaux du gîte de la Planche (ou Berchoux , 1.75 km au SW de Vaux en Beaujolais)

Ech : 1/700eme . : D'après Carrie (1963) .

Les lettres P et M localisent les échantillons utilisés en métallogénie

On a essayé de recaler certains échantillons de Carrie .



Plan 6

RIGAUD JP, 1985, THSE, GRENOBLE 673 3K 602

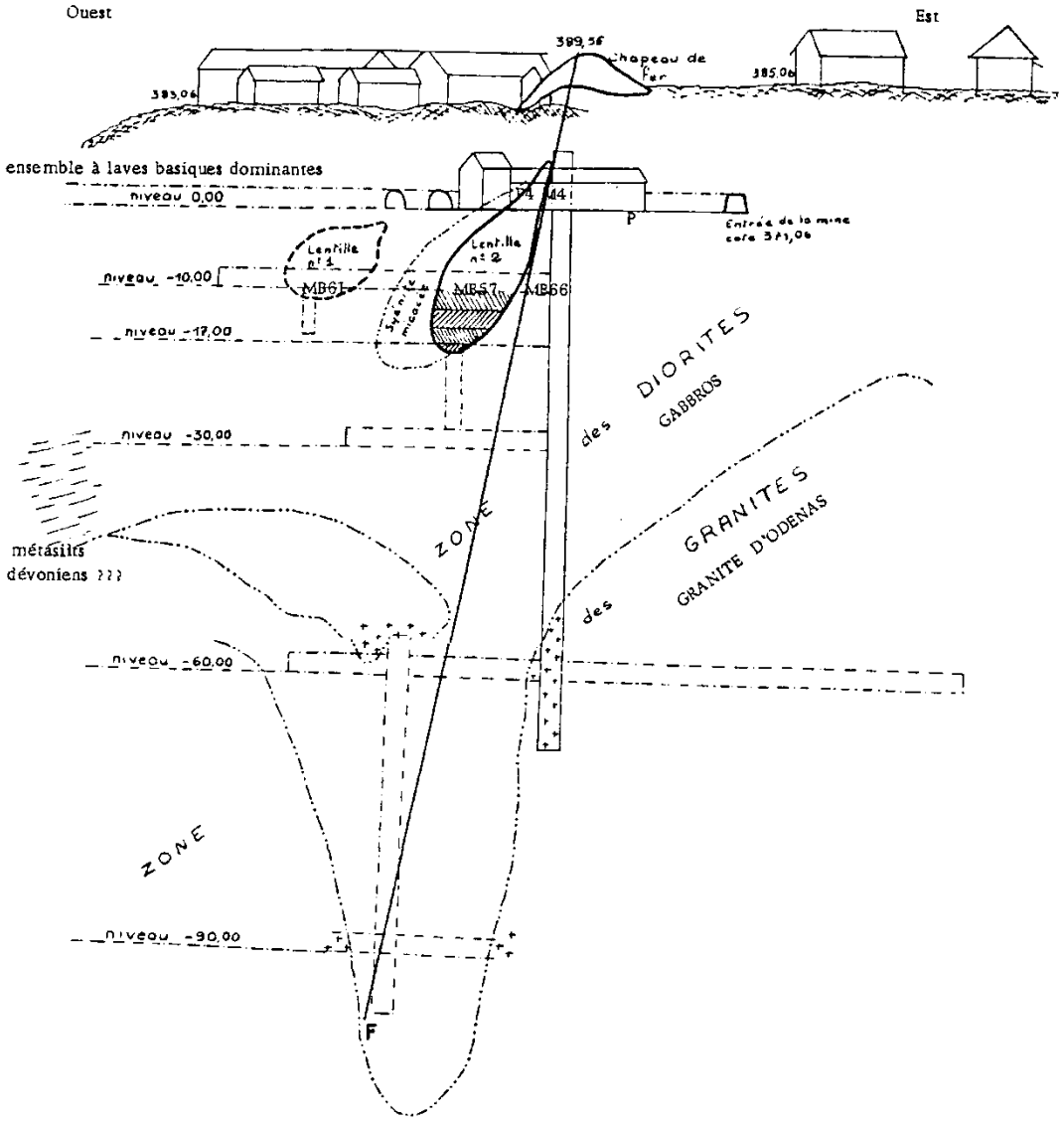


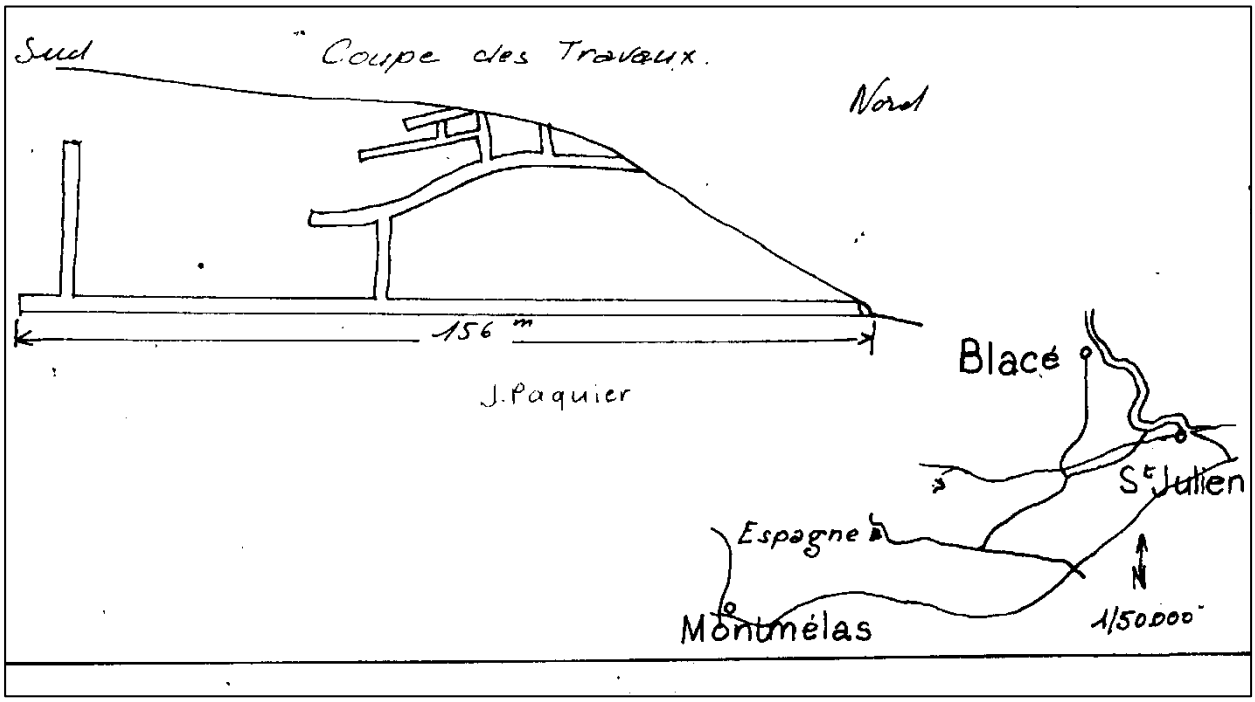
Fig 73 : Gîte de la Planche (Berchoux) - Coupe W-E passant par la lentille n°2 .

Ech : 1/700 eme d'après Carrie (1963) .

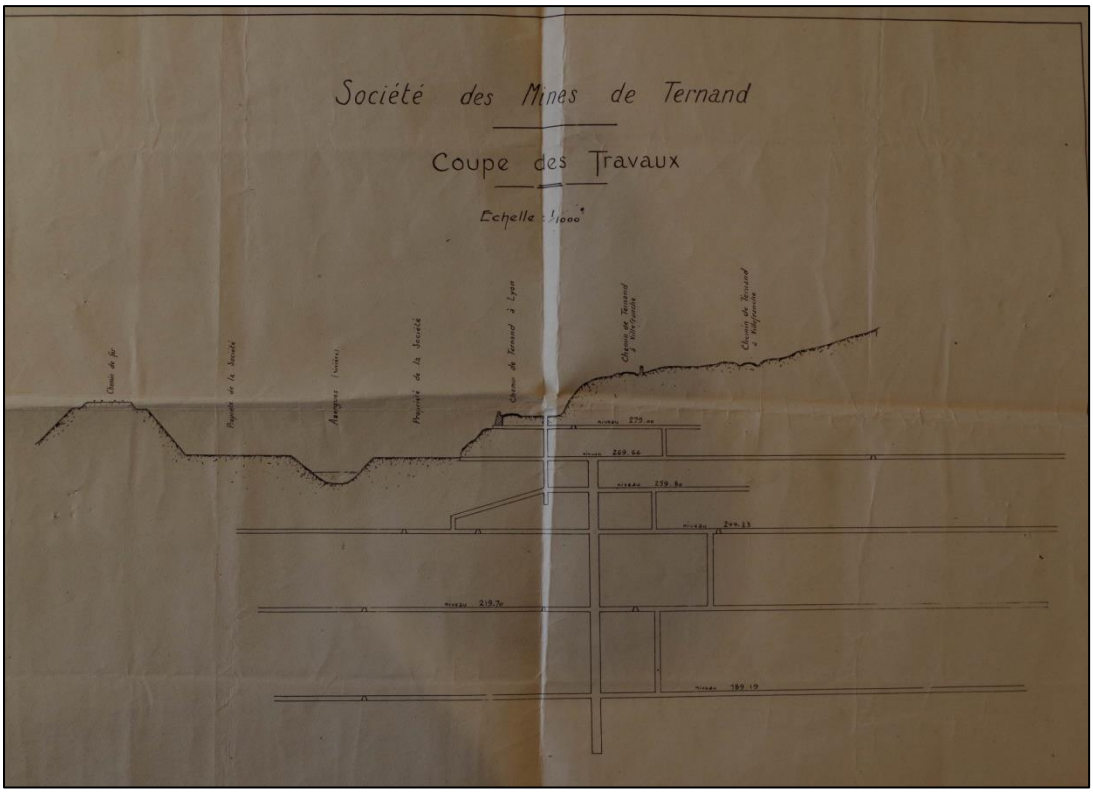
On a essayé de replacer les localisations d'échantillons .

Coupe 7

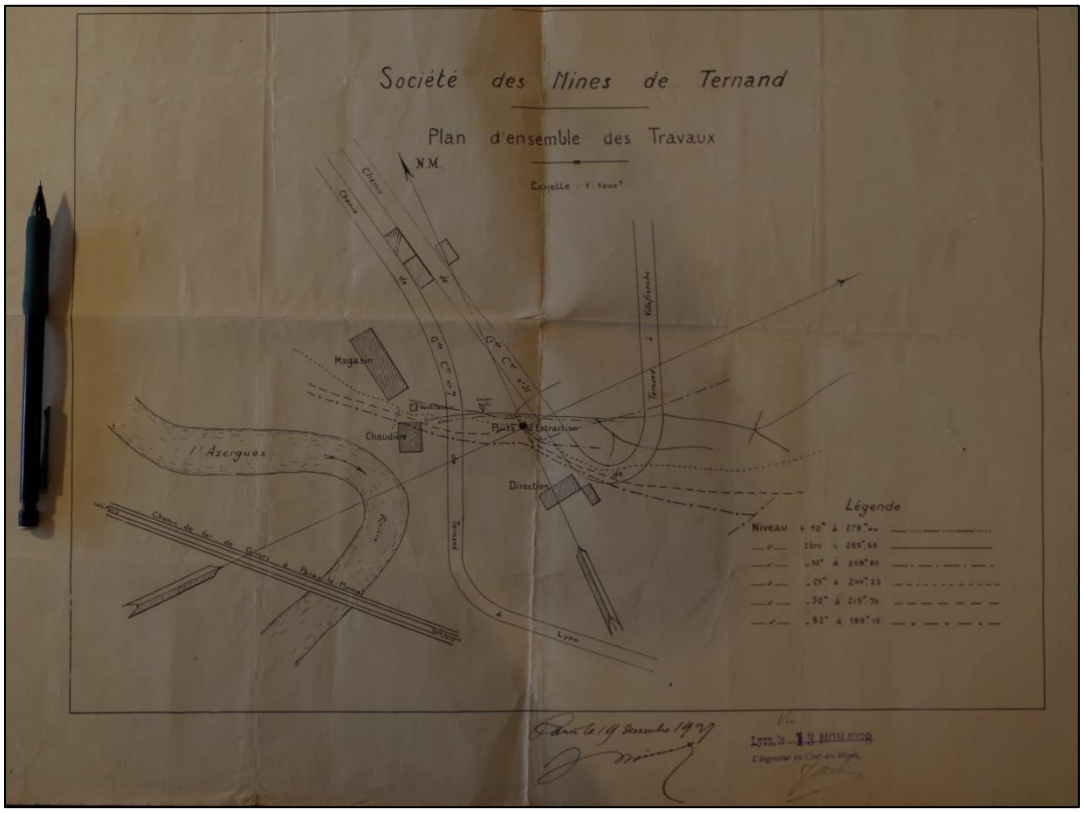
Plan 8



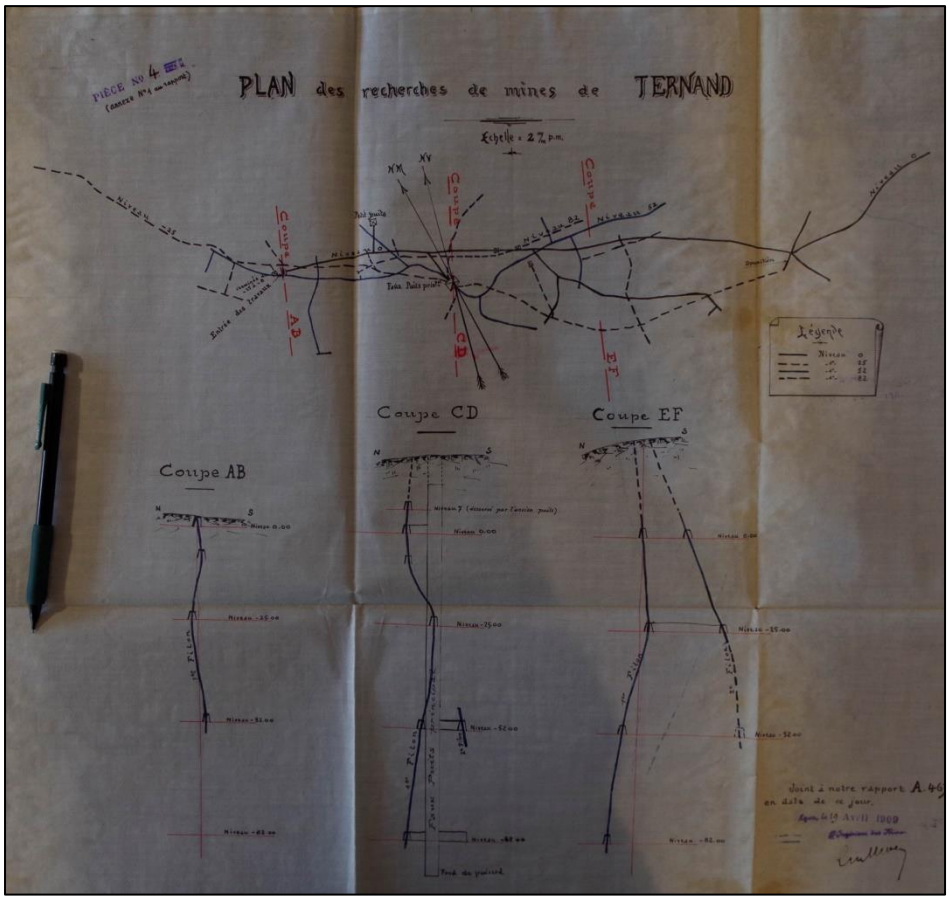
Coupe 9



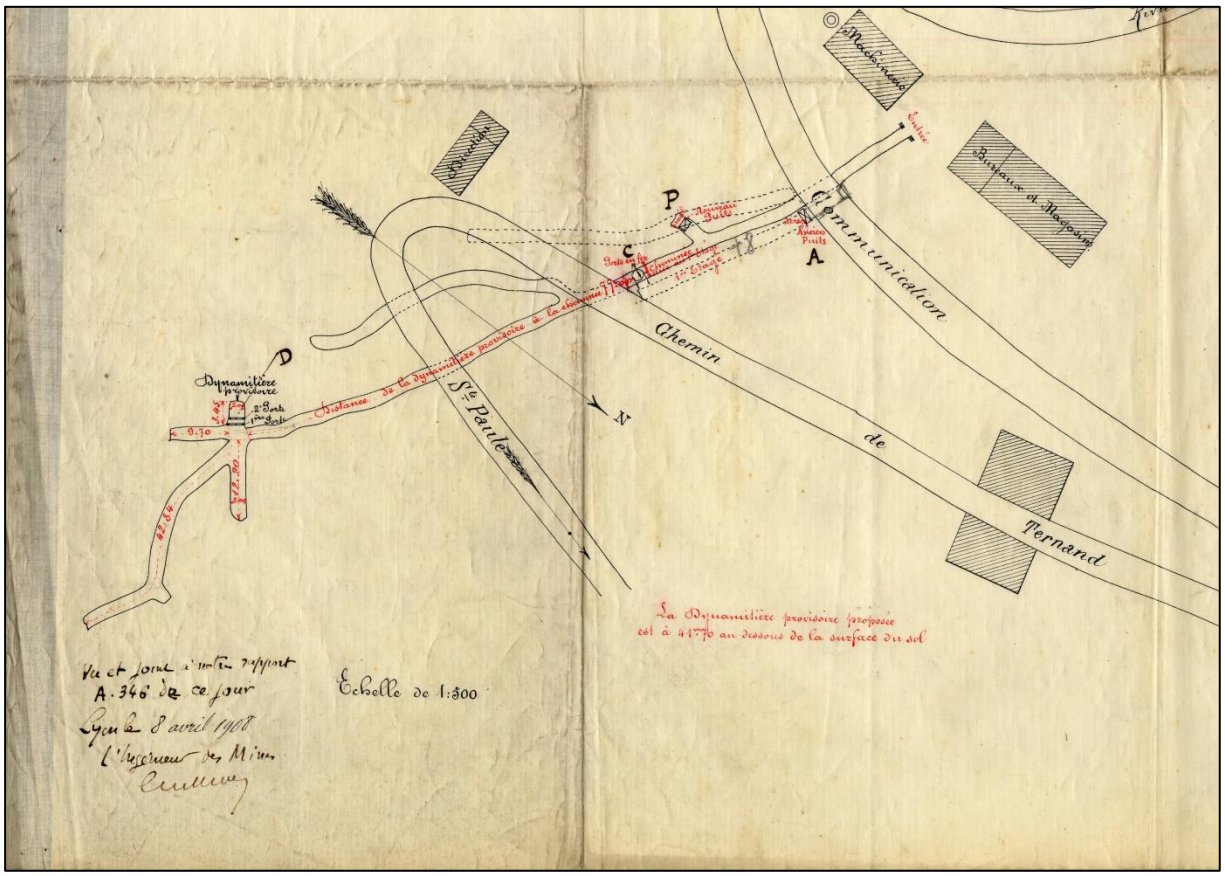
Coupe 13



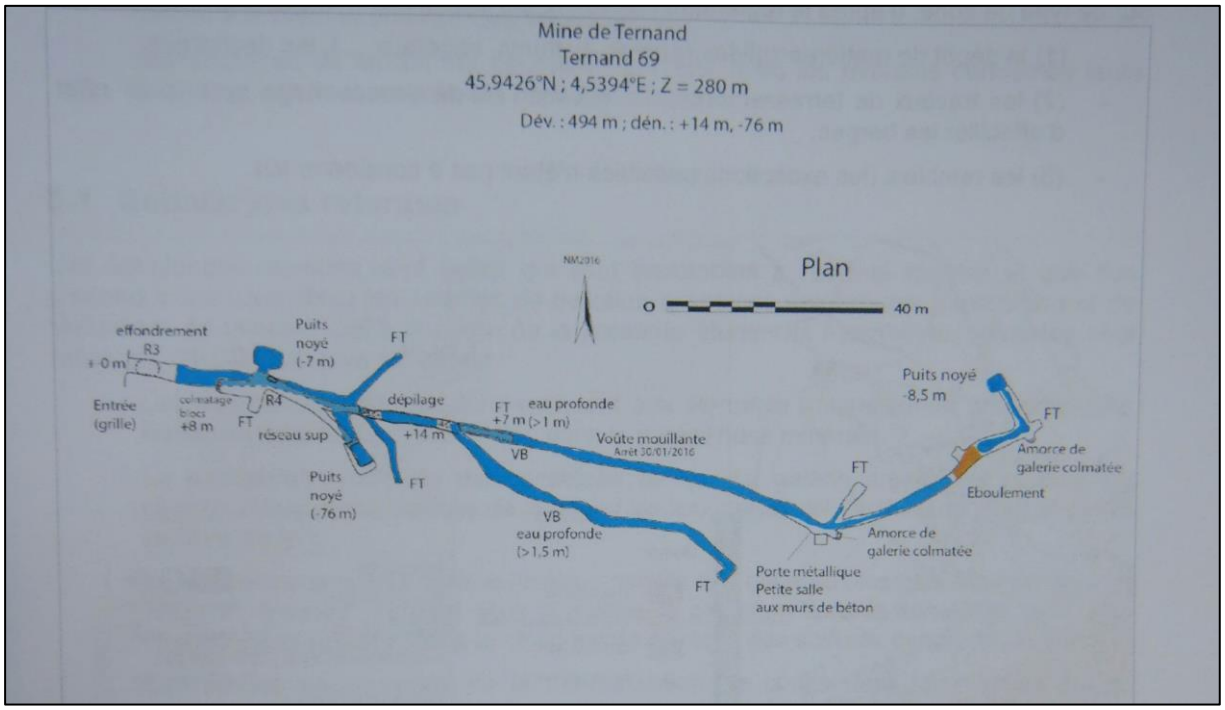
Plan 14



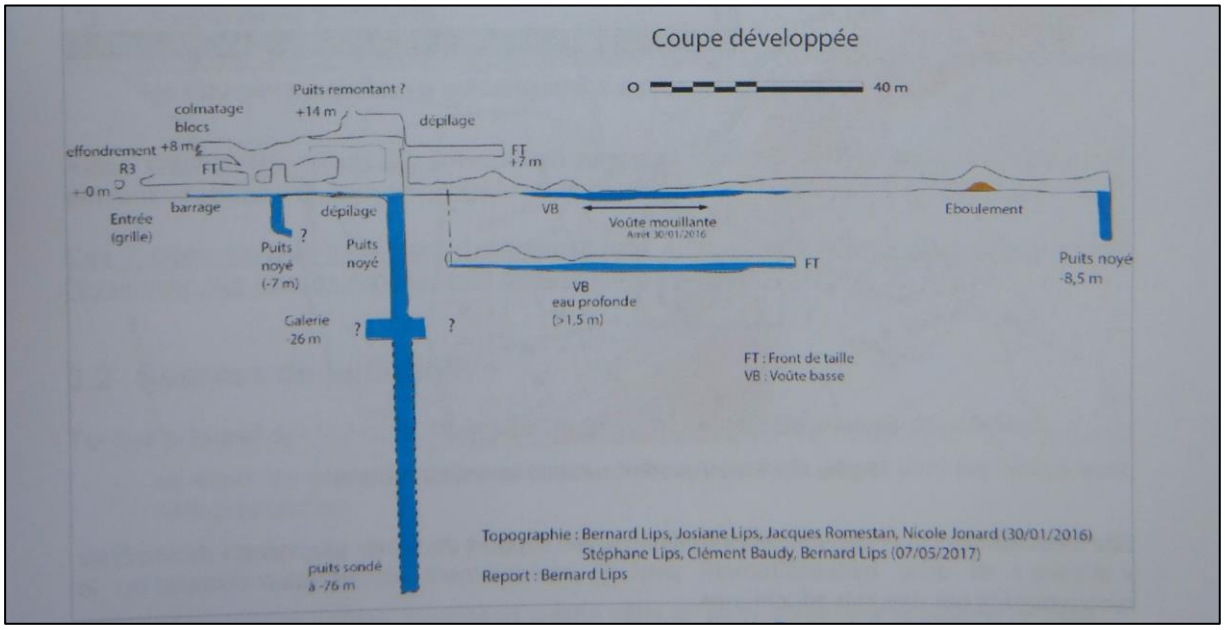
Plan 16



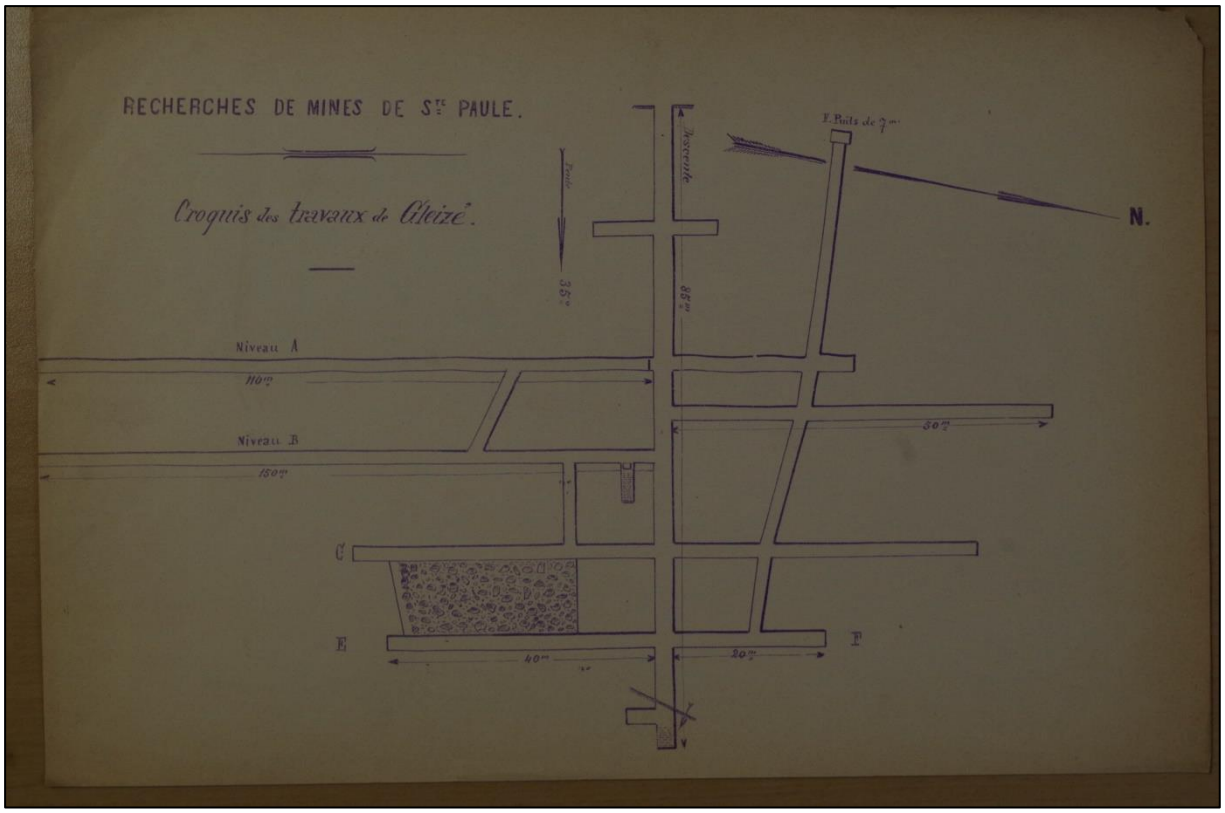
Plan 17



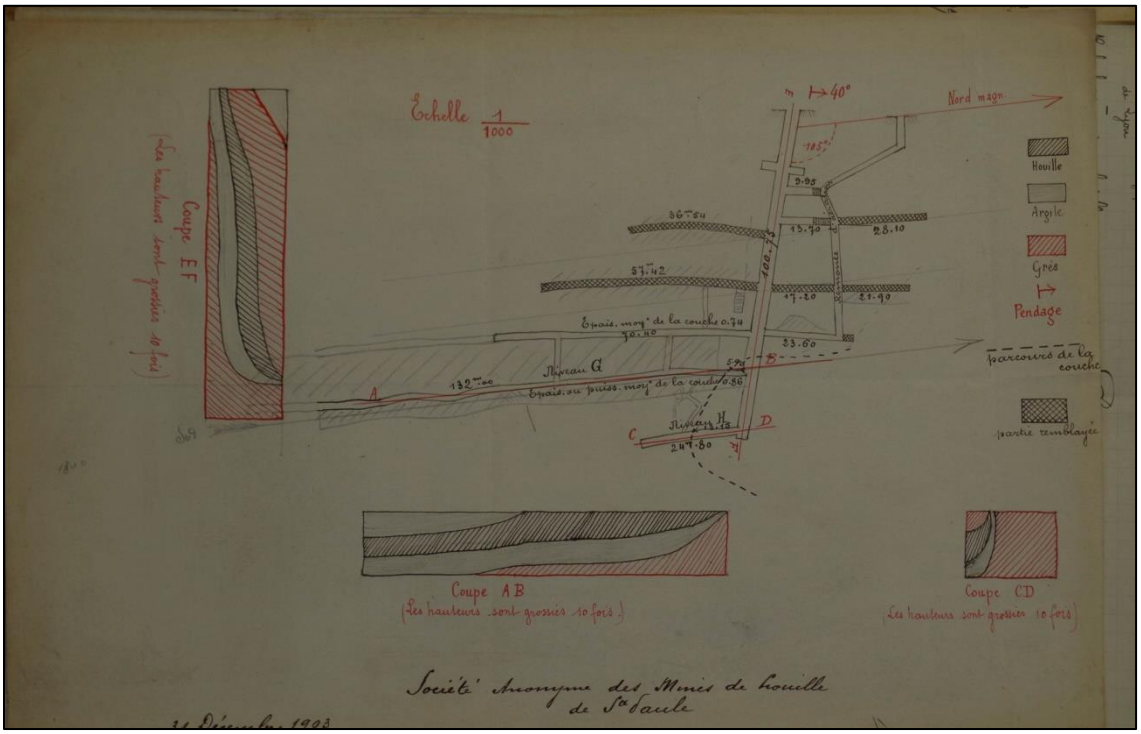
Plan et coupe 18



Plan et coupe 18

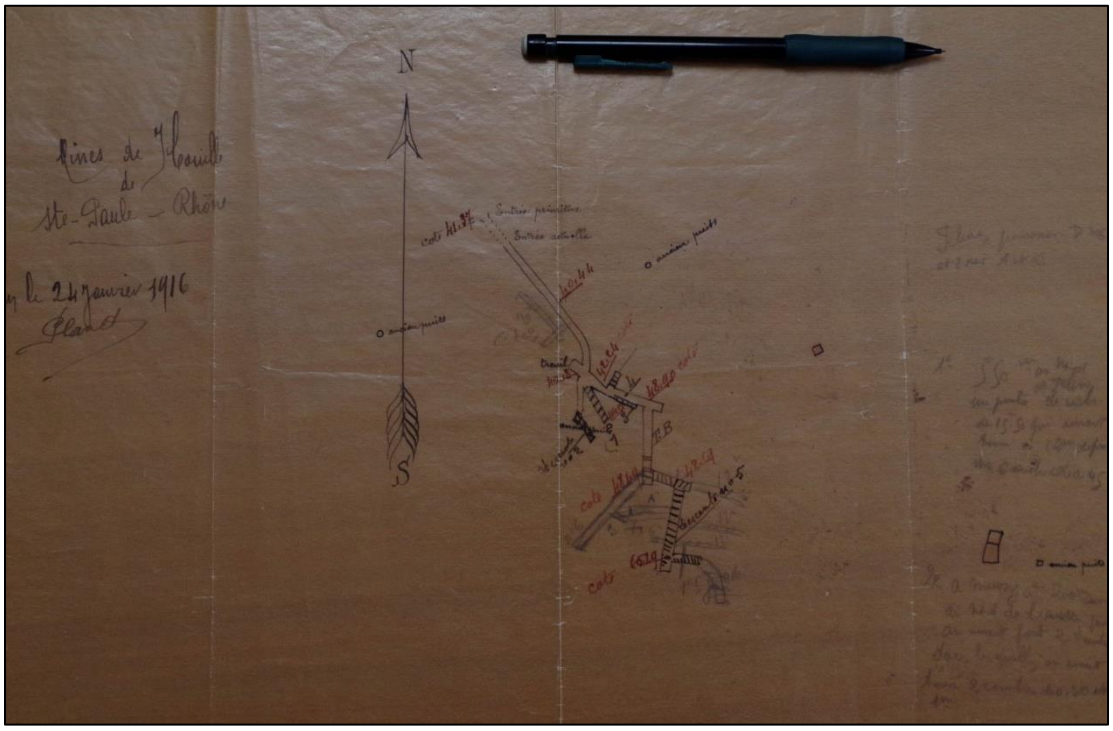


Plan 21

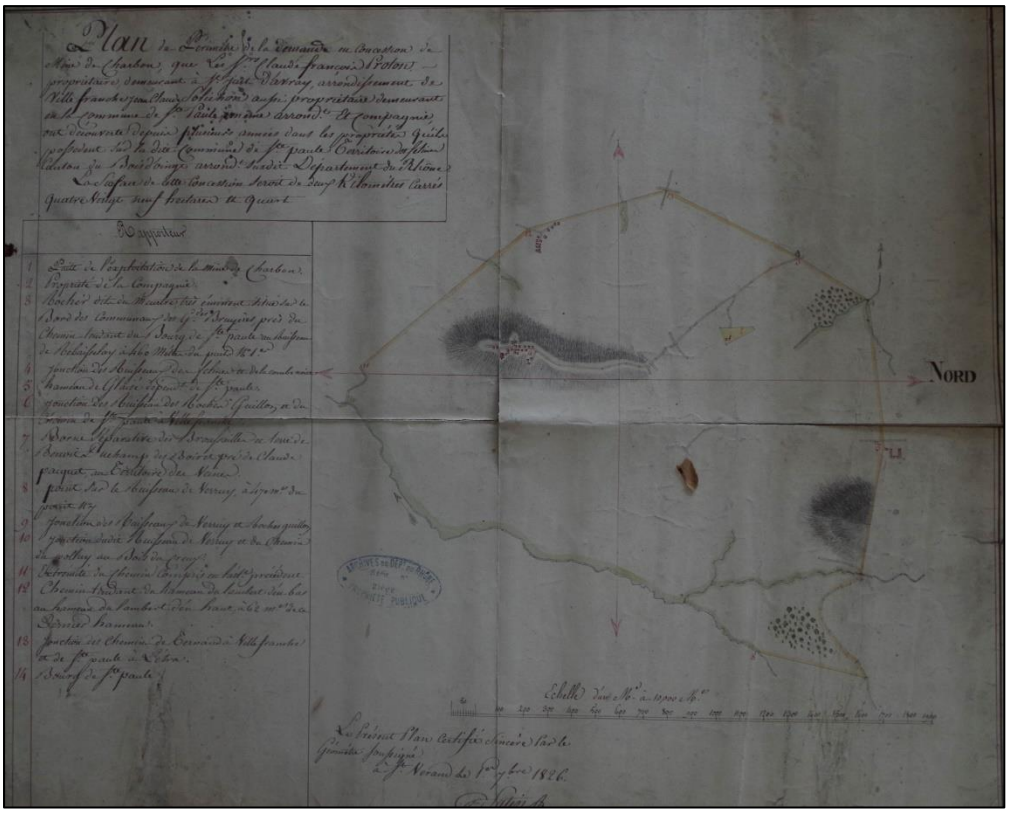


Plan 22

Plan 26



Plan 27



Plan 29

Annexe 3 :

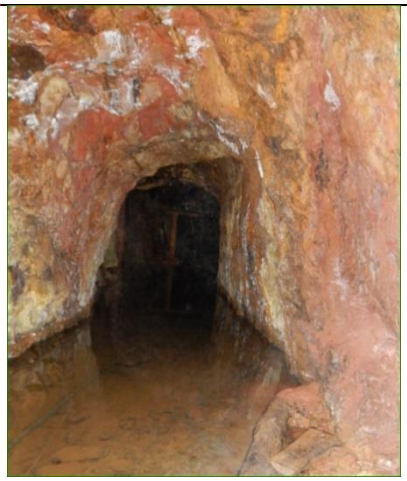
Planches photographiques

Site de Ternand

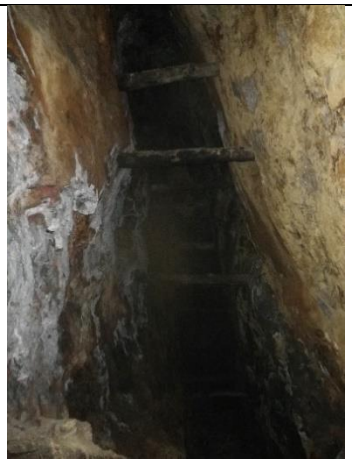
Entrée 15 / Désordre 1 / Entrée 14

Entrée 14

Désordre 1



Travaux souterrains



Travaux souterrains

Entrée 11

Site de Gleizé

Dépôt H12

Indice 14 / Dépôts H13 /Entrée 27 / Désordre 2

Dépôt H8

Indice 19

Site du vallon de Mussy

Indice 12

Indice 20

Site de Félines

Zone entrées 16 et 17

Indice 24

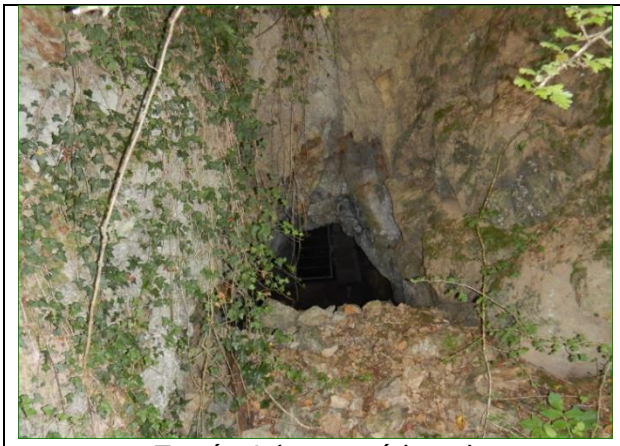
Dépôt H9

Site de Pierreplate

Entrée 5

Puits 6

Site du Bout du monde



Entrée 1 (vue extérieure)

Entrée 1 (vue intérieure)

Entrée 2 (vue extérieure)

Entrée 2(vue intérieure)

Puits 3

Dépôt H1

Site de la Creuse

Entrée 7 (vue extérieure)

Entrée 7 (vue intérieure)

Dépôt H5

Dépôt H6 / position supposés puits 9

Site de Berchoux

Entrée 10

Montée de voute entrée 10

Travaux souterrains

Travaux souterrains

Dépôt H7

Annexe 4 :

Cartes Informatives

GEODERIS

DREAL AURA

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN DU DISTRICT MINIER DE BERCHOUX (DÉPARTEMENT DU RHÔNE, 69)

CARTE 3F : CARTE INFORMATIVE DE LA COMMUNE DU PERREON

Rapport 2019/270DE - 19RHA22030

Légende :

- Limite de commune
- Limite titre minier (n°BDSTM)
- Site minier (n°BDSTM)
- Quartier minier

Travaux miniers

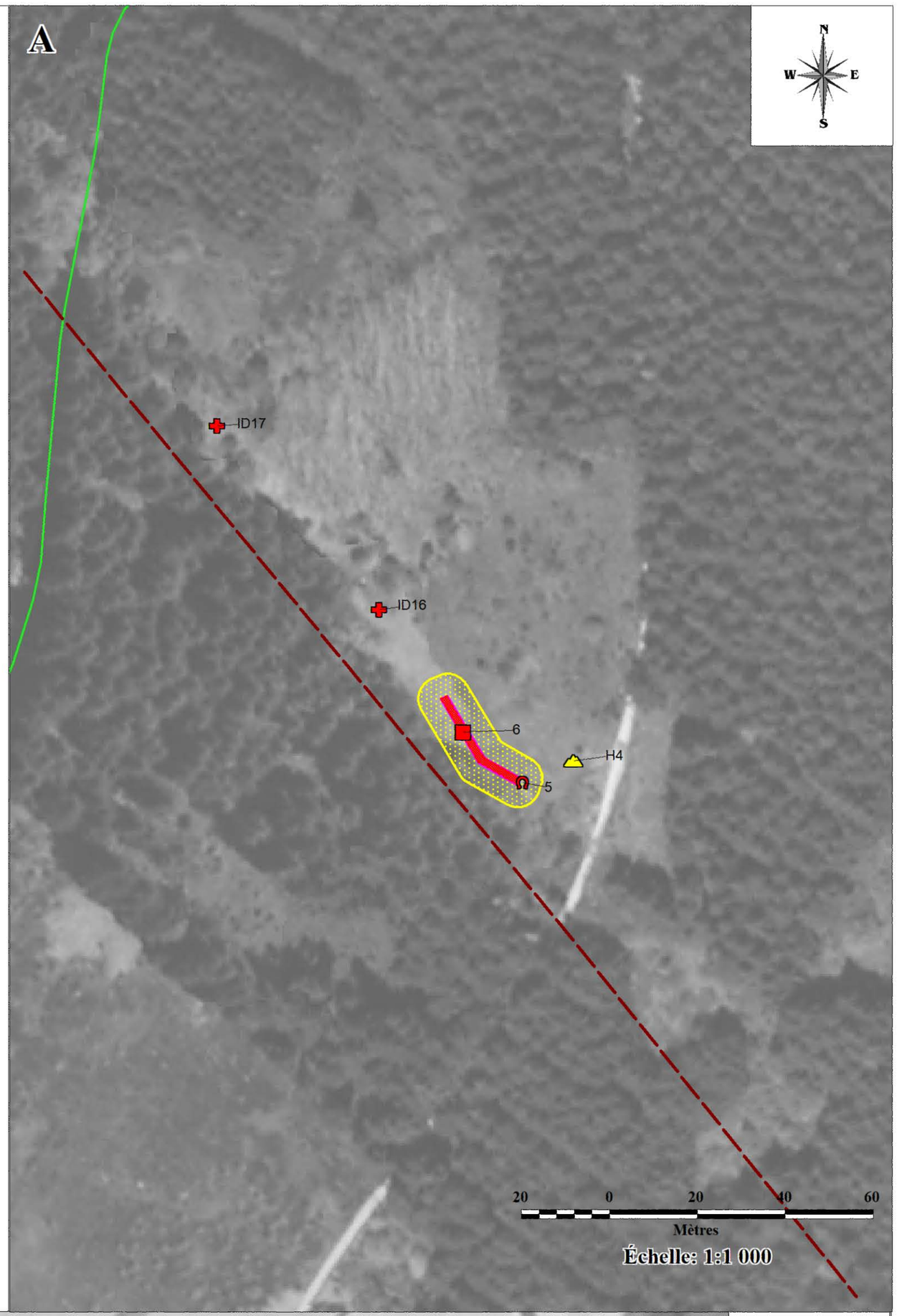
- Travaux souterrains localisés (incertitude non comprise)
- Travaux à moins de 10 m de profondeur
- Travaux à moins de 30 m de profondeur
- Enveloppe des travaux souterrains localisés (incertitude comprise)
- Zone potentiellement affectée par des travaux miniers soutterrains (incertitude comprise)

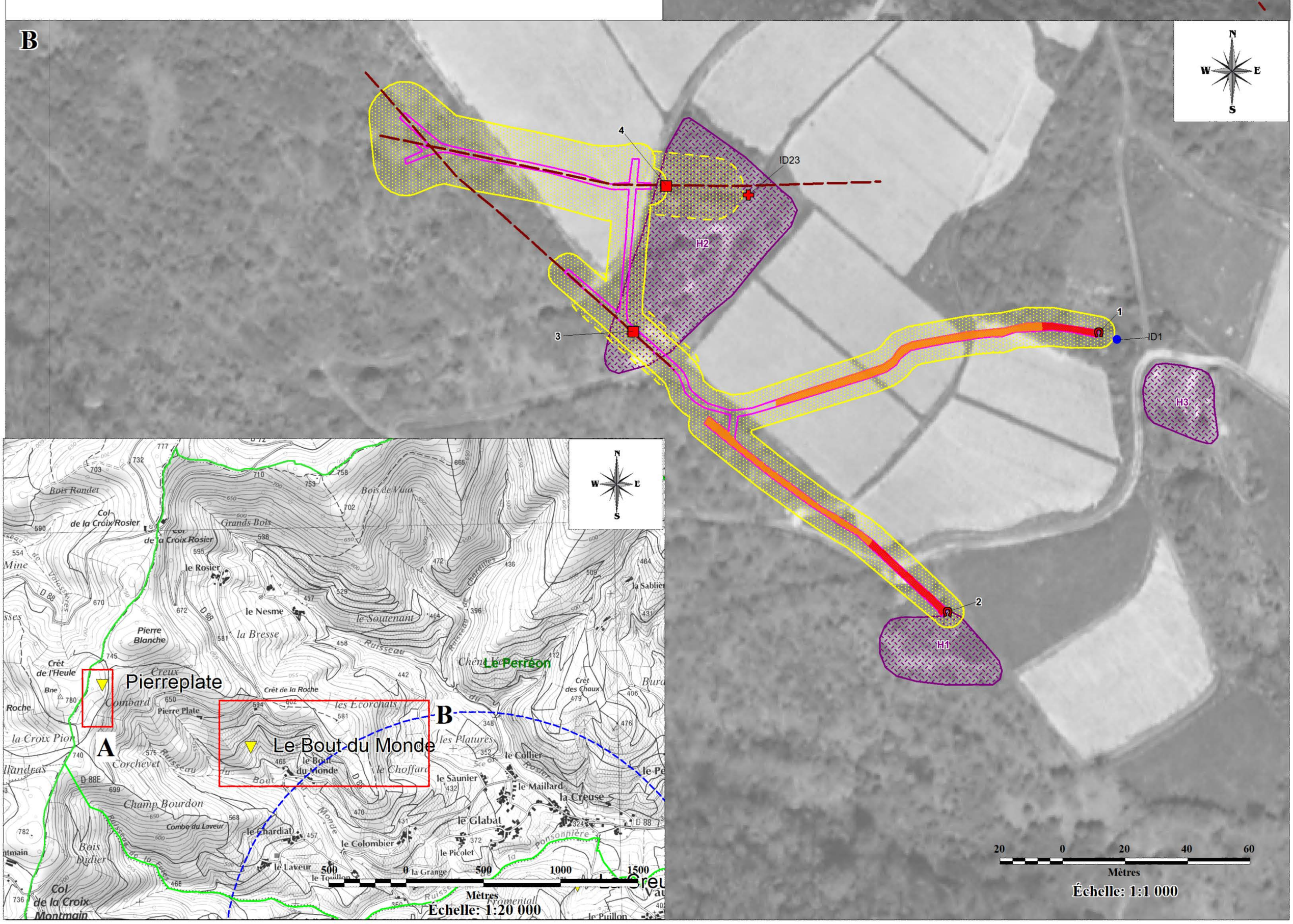
- Désordre minier
- Dépôt ponctuel/ Zone de dépôt
- Indice minier matérialisé (avec/sans emprise)
- Indice minier relaté (avec/sans emprise)
- Résurgence minière
- Ancien batiment minier

Ouvrages débouchant au jour

- *Entrée de galerie*
  - Localisée
  - Matérialisée
- *Puits*
  - Localisé
  - Matérialisé

Fond cartographique : BD ORTHO® de 2008 utilisée conformément aux dispositions prévues par le protocole IGN - MEDAD - MAP de juillet 2007





GEODERIS

DREAL AURA

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN DU DISTRICT MINIER DE TERNAND (DÉPARTEMENT DU RHÔNE, 69)

CARTE 3C : CARTE INFORMATIVE DE LA COMMUNE DE LETRA

Rapport 2019/270DE -19RHA22030

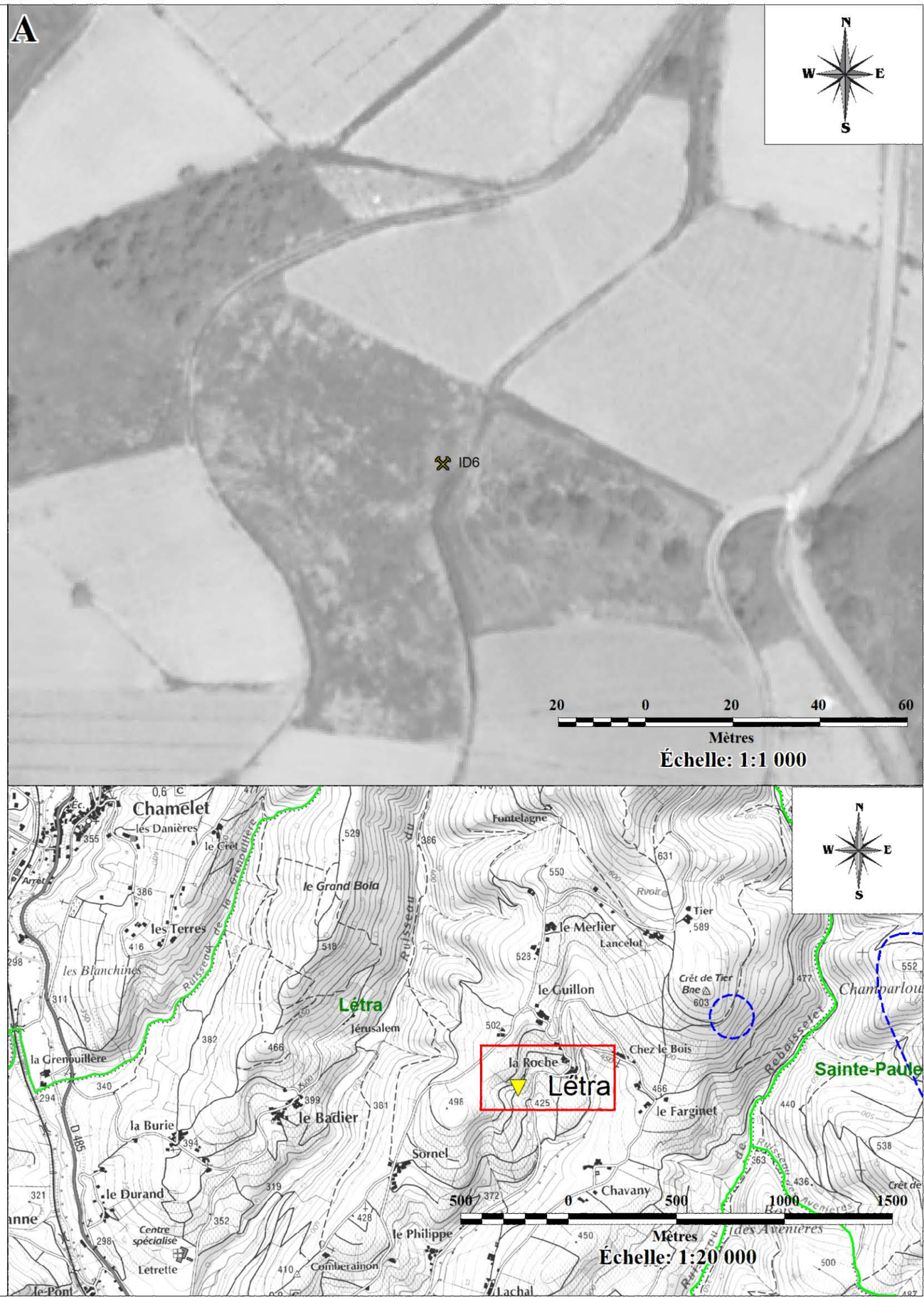
Légende :

- Limite de commune
- Limite titre minier (n°BDSTM)
- Site minier (n°BDSTM)
- Quartier minier

Travaux miniers

- Indice minier matérialisé (avec/sans emprise)
- Indice minier relaté (avec/sans emprise)

Fond cartographique : BD ORTHO® de 2008 utilisée conformément aux dispositions prévues par le protocole IGN - MEDAD - MAP de juillet 2007



ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN DU DISTRICT MINIER DE SAINTE PAULE (DÉPARTEMENT DU RHÔNE, 69)

CARTE 3B : CARTE INFORMATIVE DE LA COMMUNE DE SAINTE PAULE

Rapport 2019/270DE - 19RHA22030

Légende :

- Limite de commune
- Limite titre minier (n°BDSTM)
- Site minier (n°BDSTM)
- Quartier minier

Travaux miniers

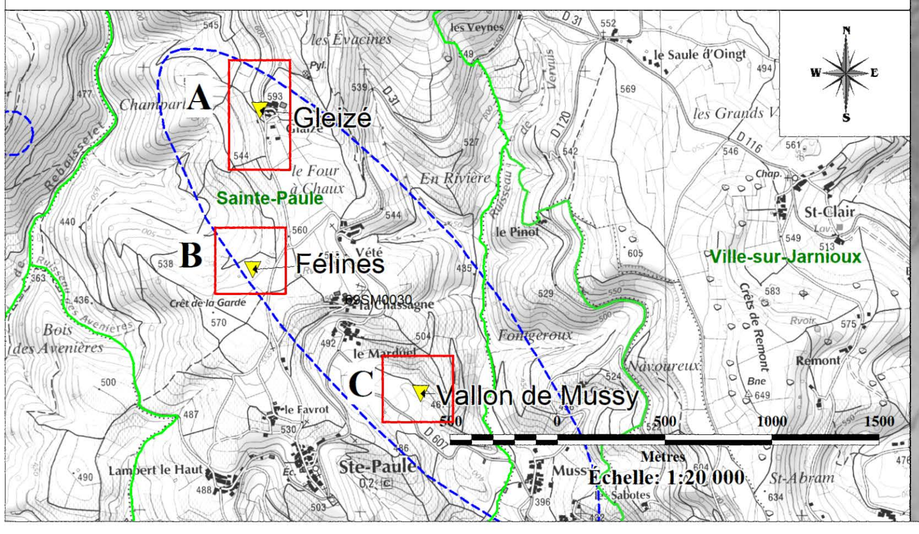
- Travaux souterrains localisés (incertitude non comprise)
- Travaux à moins de 10 m de profondeur
- Travaux à moins de 30 m de profondeur
- Enveloppe des travaux souterrains localisés (incertitude comprise)
- Zone potentiellement affectée par des travaux miniers souterrains (incertitude comprise)

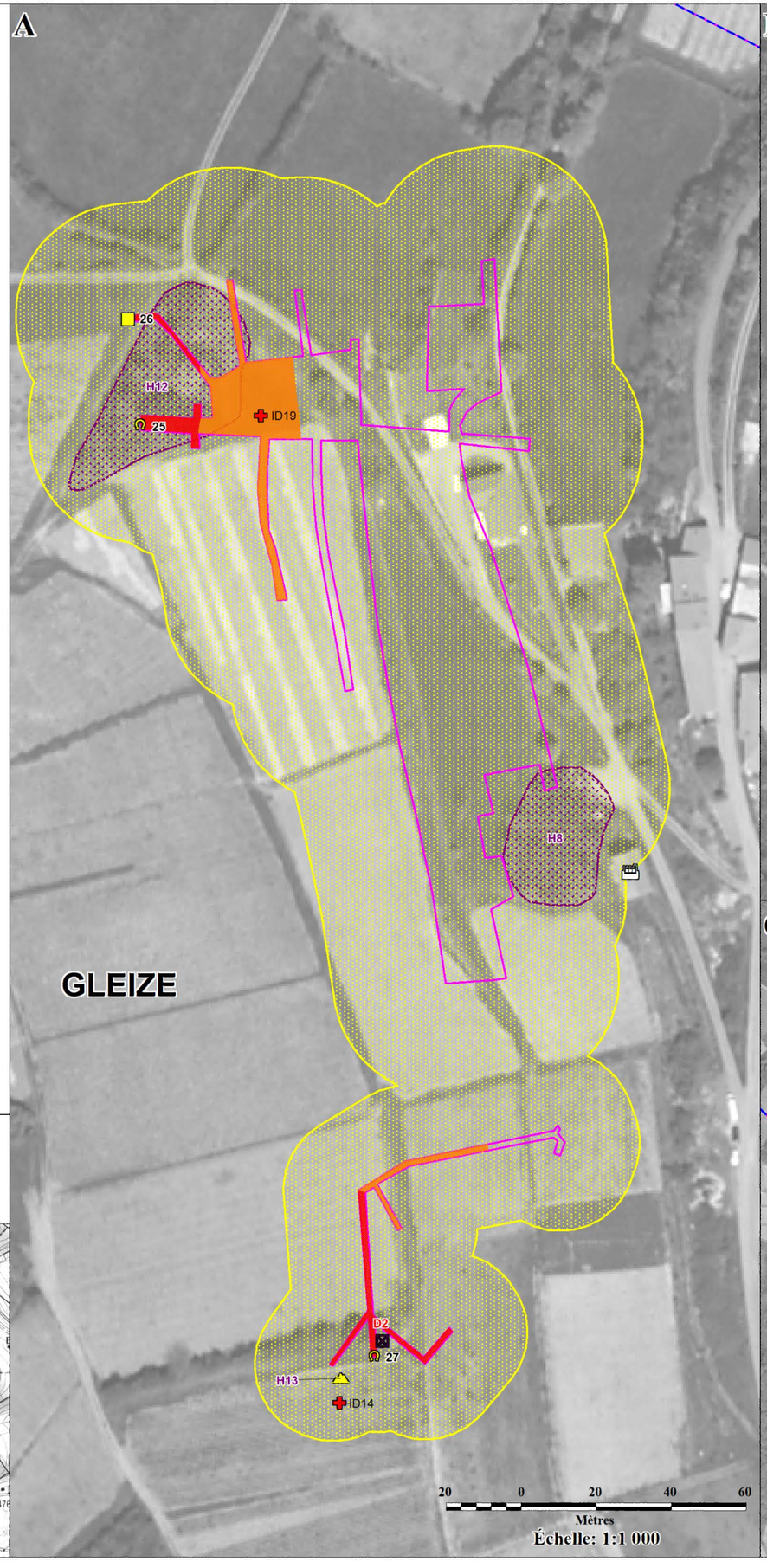
- Désordre minier
- Dépôts ponctuel/ Zone de dépôt
- Indice minier matérialisé (avec/sans emprise)
- Indice minier relaté (avec/sans emprise)
- Résurgence minière
- Ancien batiment minier

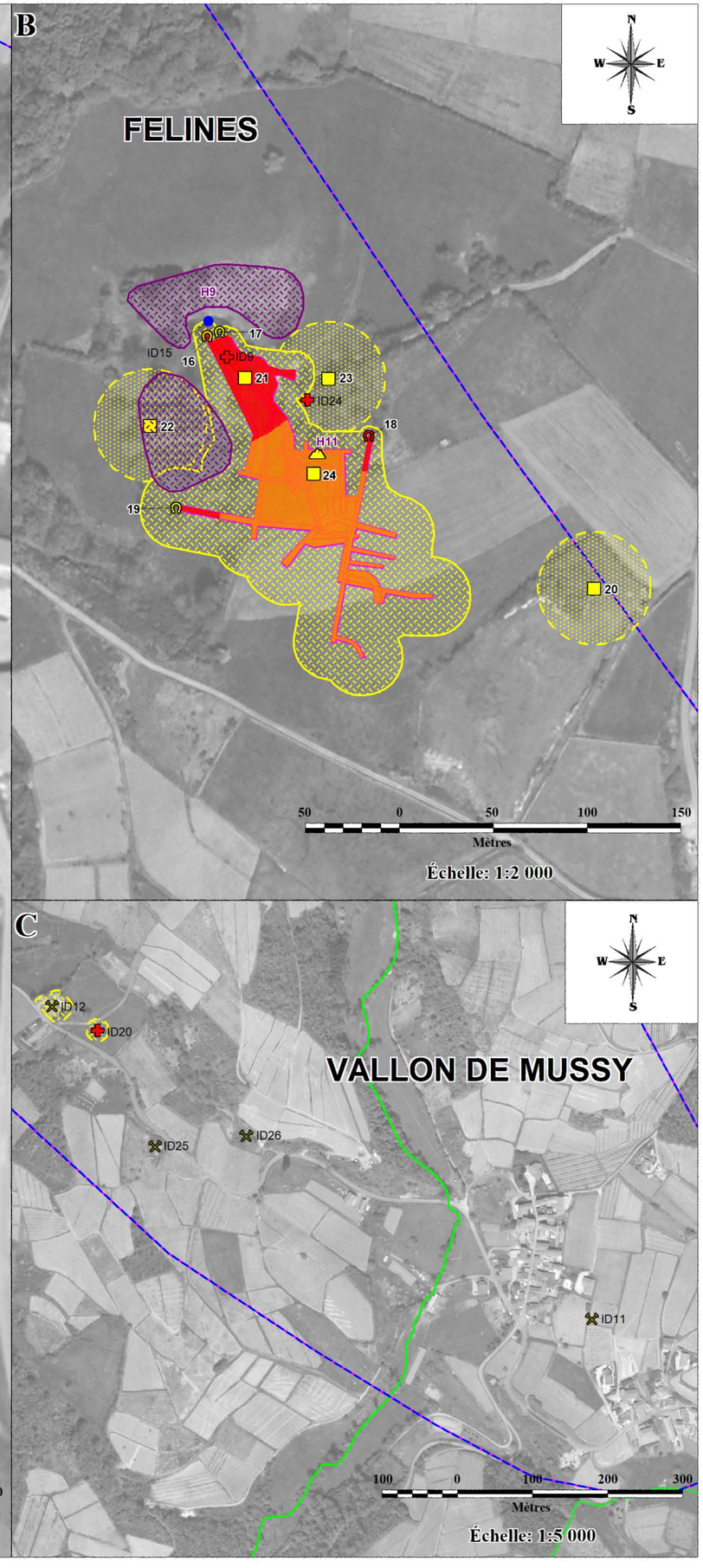
Ouvrages débouchant au jour

- *Entrée de galerie*
  - Localisée
  - Matérialisée
- *Puits*
  - Localisé
  - Matérialisé

Fond cartographique : BD ORTHO® de 2008 utilisée conformément aux dispositions prévues par le protocole IGN - MEDAD - MAP de juillet 2007







GEODERIS

DREAL AURA

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN DU DISTRICT MINIER DE BERCHOUX (DÉPARTEMENT DU RHÔNE, 69)

CARTE 3D : CARTE INFORMATIVE DE LA COMMUNE DE SAINT-JULIEN

Rapport 2019/270DE -19RHA22030

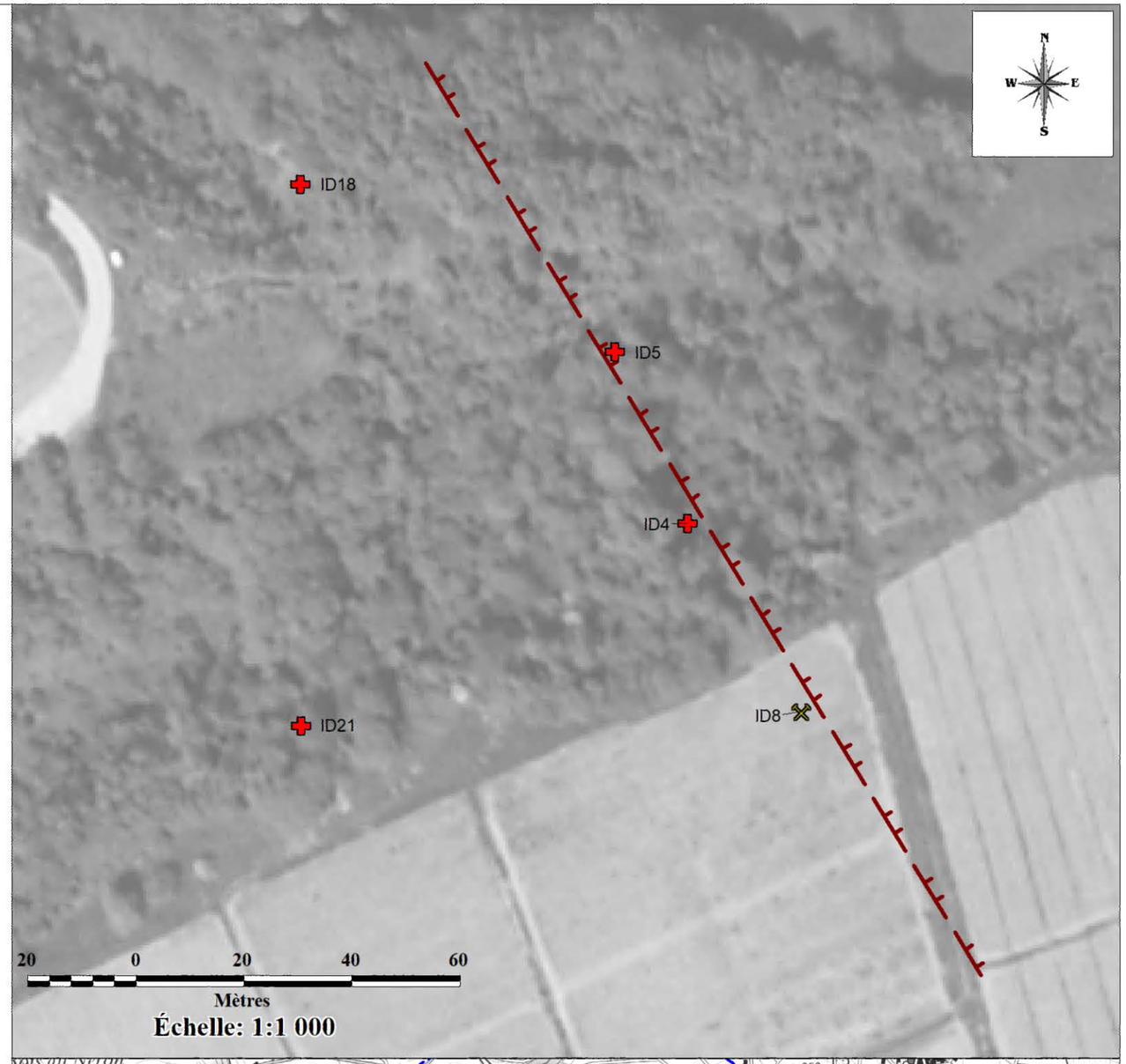
Légende :

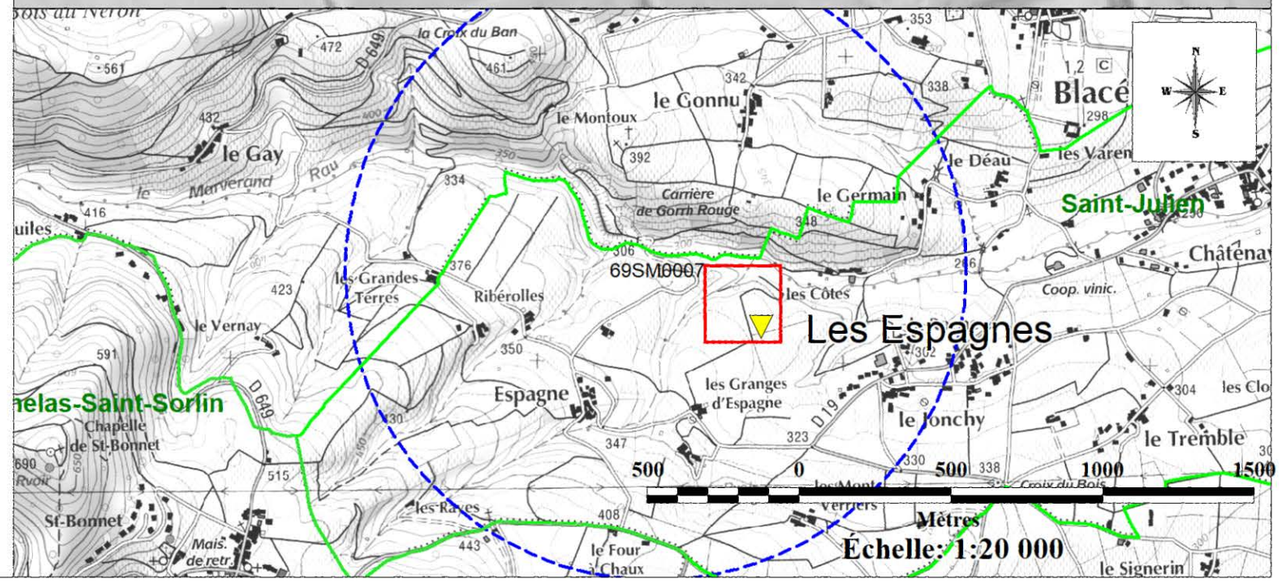
- Limite de commune
- Limite titre minier (n°BDSTM)
- Site minier (n°BDSTM)
- Quartier minier
- Filon

Travaux miniers

- Indice minier matérialisé (avec/sans emprise)
- Indice minier relaté (avec/sans emprise)

Fond cartographique : BD ORTHO® de 2008 utilisée conformément aux dispositions prévues par le protocole IGN - MEDAD - MAP de juillet 2007





GEODERIS

DREAL AURA

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN DU DISTRICT MINIER DE TERNAND (DÉPARTEMENT DU RHÔNE, 69)

CARTE 3A : CARTE INFORMATIVE DE LA COMMUNE DE TERNAND

Rapport 2019/270DE - 19RHA22030

Légende :

- Limite de commune
- Limite titre minier (n°BDSTM)
- Site minier (n°BDSTM)
- Quartier minier

Travaux miniers

- Travaux souterrains localisés (incertitude non comprise)
- Travaux à moins de 10 m de profondeur
- Travaux à moins de 30 m de profondeur
- Enveloppe des travaux souterrains localisés (incertitude comprise)
- Zone potentiellement affectée par des travaux miniers soutterrains (incertitude comprise)

- Désordre minier
- Dépôts
- Indice minier matérialisé (avec/sans emprise)
- Indice minier relaté (avec/sans emprise)
- Résurgence minière
- Ancien batiment minier

Ouvrages débouchant au jour

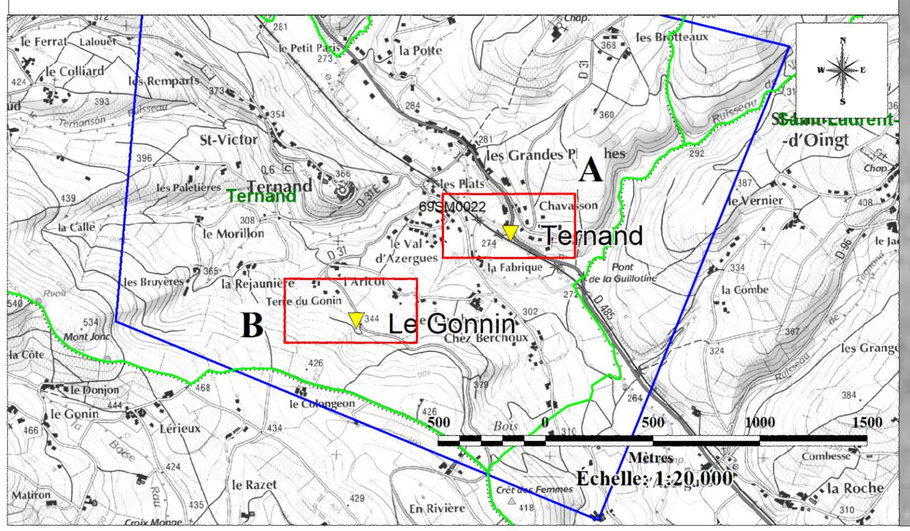
- Entrée de galerie

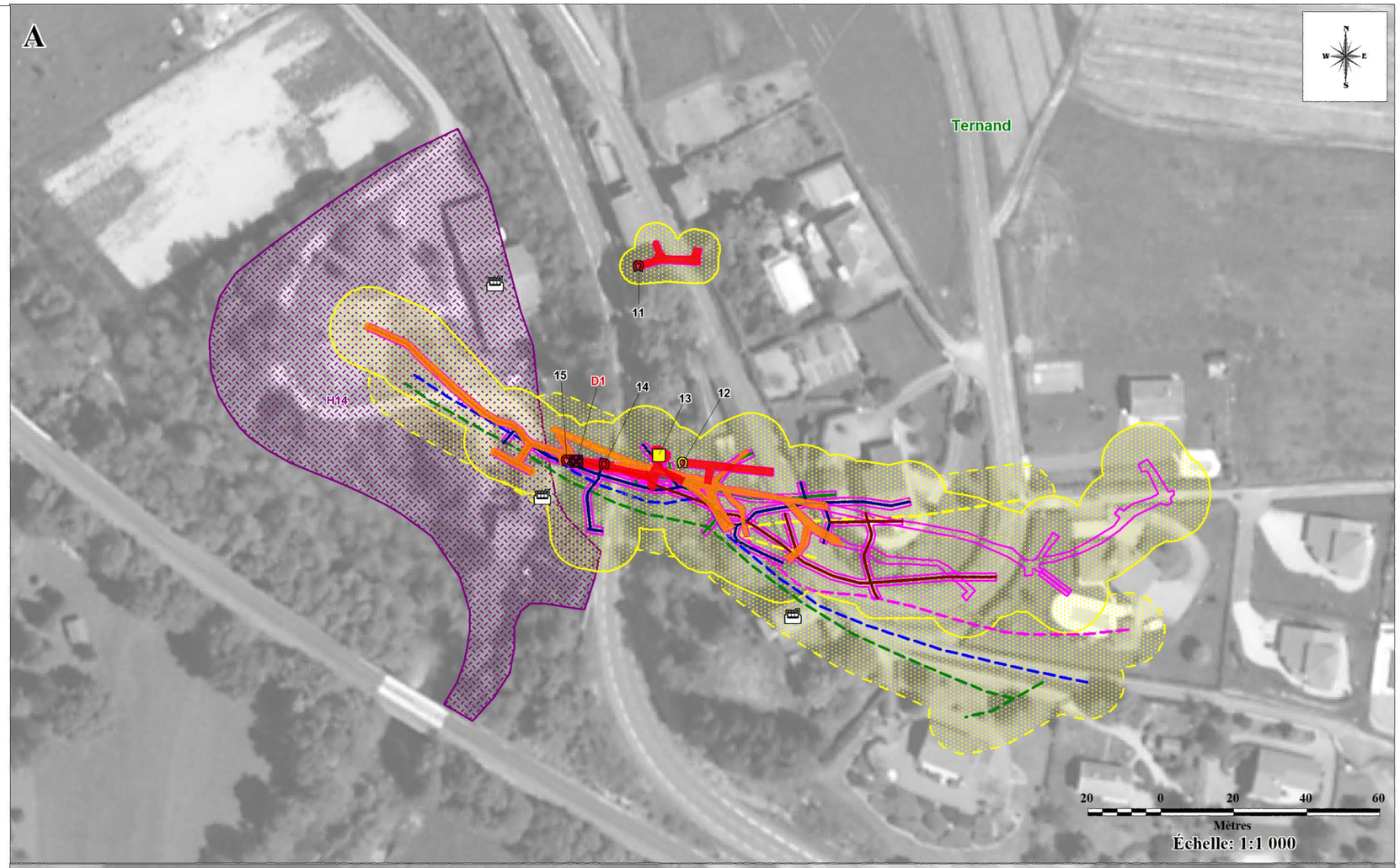
- Localisée
- Matérialisée

- Puits

- Localisé
- Matérialisé

Fond cartographique : BD ORTHO® de 2008 utilisée conformément aux dispositions prévues par le protocole IGN - MEDAD - MAP de juillet 2007





GEODERIS

DREAL AURA

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN DU DISTRICT MINIER DE BERCHOUX (DÉPARTEMENT DU RHÔNE, 69)

CARTE 3E : CARTE INFORMATIVE DE LA COMMUNE DE VAUX-EN-BEAUJOLAIS

Rapport 2019/270DE - 19RHA22030

Légende :

- Limite de commune
- Limite titre minier (n°BDSTM)
- Site minier (n°BDSTM)
- Quartier minier

Travaux miniers

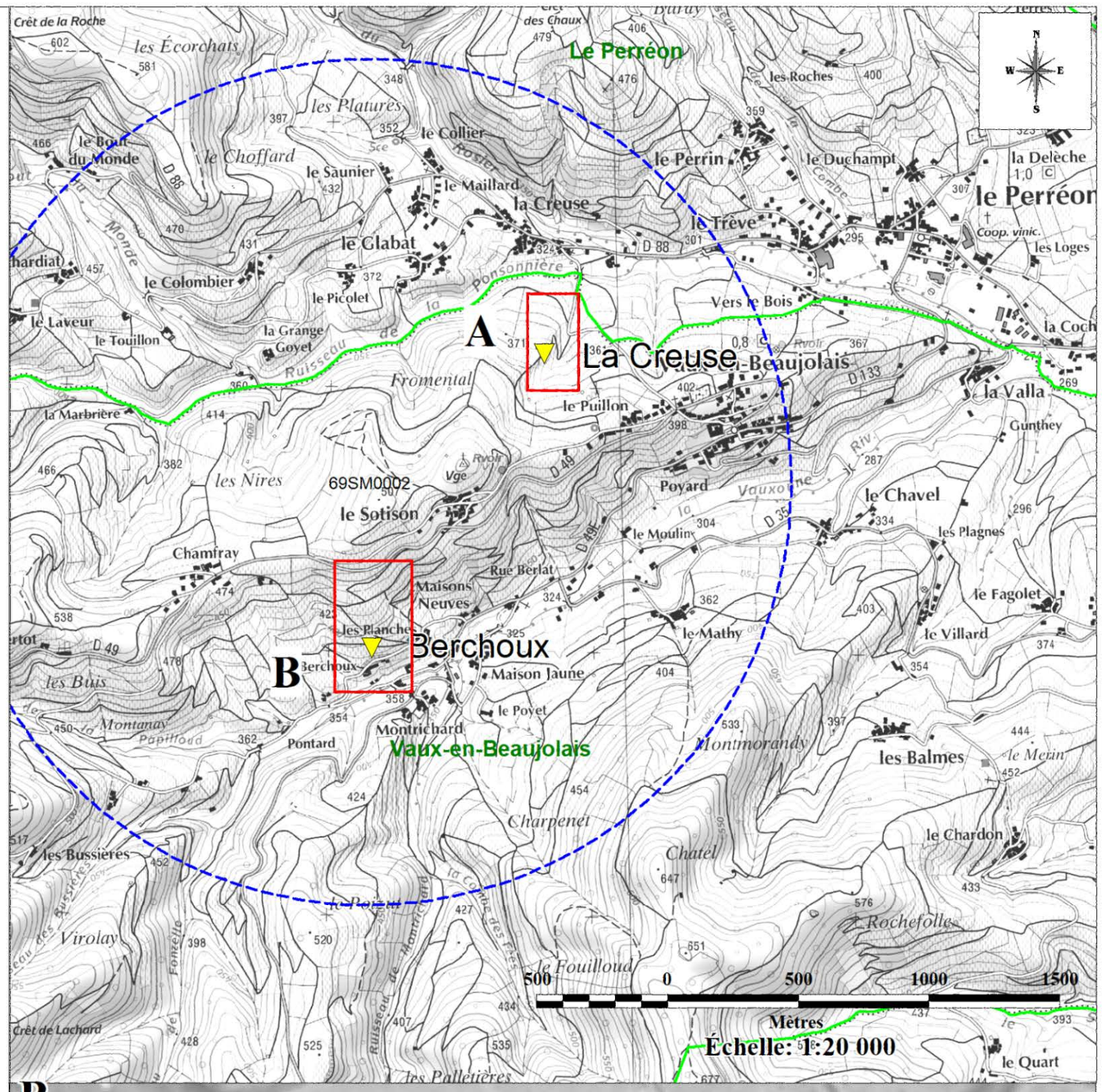
- Travaux souterrains localisés (incertitude non comprise)
- Travaux à moins de 10 m de profondeur
- Travaux à moins de 30 m de profondeur
- Enveloppe des travaux souterrains localisés (incertitude comprise)
- Zone potentiellement affectée par des travaux miniers soutterrains (incertitude comprise)

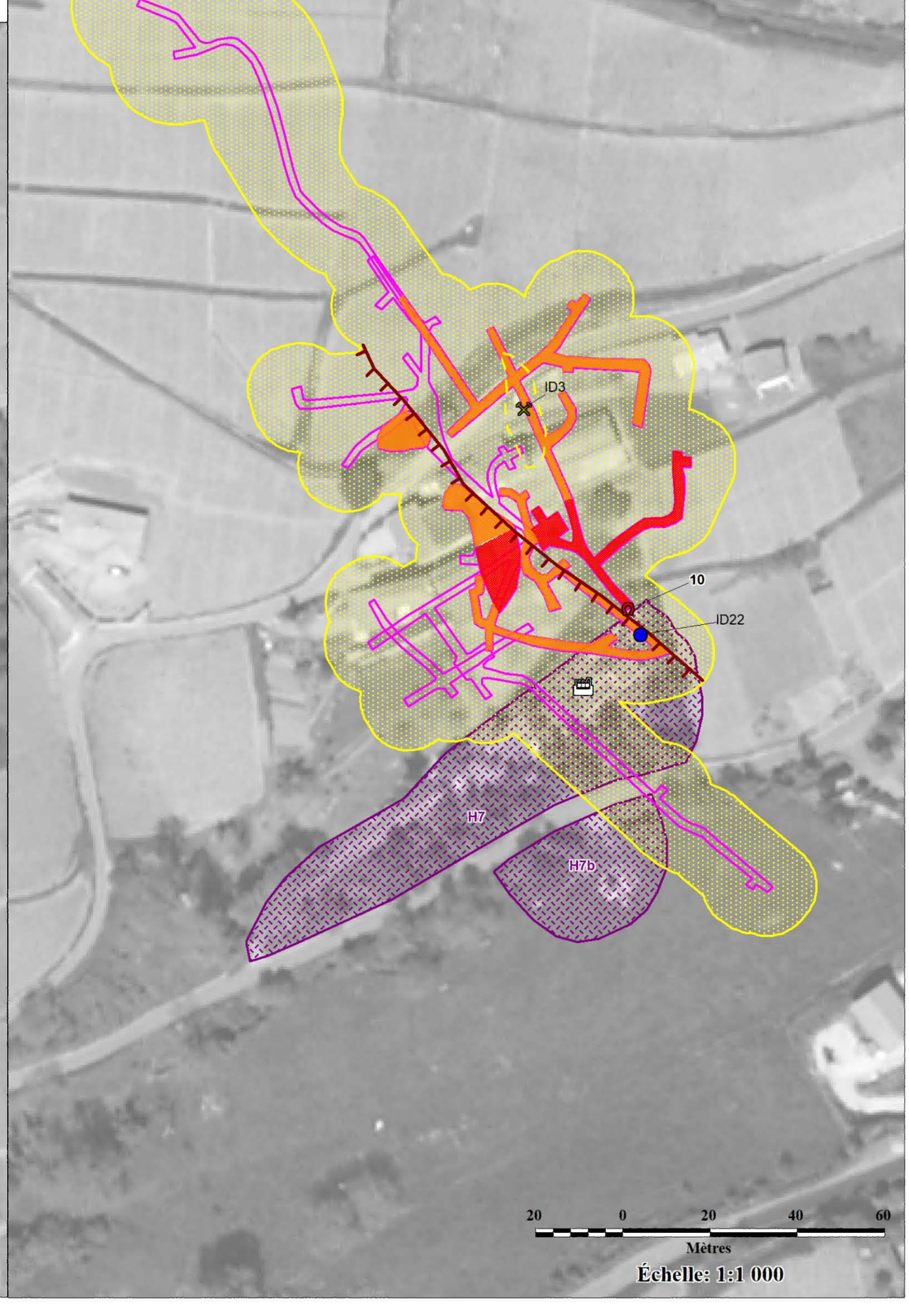
- Désordre minier
- Dépôts
- Indice minier matérialisé (avec/sans emprise)
- Indice minier relaté (avec/sans emprise)
- Résurgence minière
- Ancien batiment minier

Ouvrages débouchant au jour

- *Entrée de galerie*
  - Localisée
  - Matérialisée
- *Puits*
  - Localisé
  - Matérialisé

Fond cartographique : BD ORTHO® de 2008 utilisée conformément aux dispositions prévues par le protocole IGN - MEDAD - MAP de juillet 2007





Annexe 5 :

Cartes d’aléas

GEODERIS

DREAL AURA

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN DU DISTRICT MINIER DE BERCHOUX (DÉPARTEMENT DU RHÔNE, 69)

CARTE 4F : CARTE DES ALEAS EFFONDREMENTS LOCALISES, GLISSEMENTS ET TASSEMENTS DE LA COMMUNE DU PERREON

Rapport 2019/270DE - 19RHA22030

Légende :

- Limite de commune
- Limite titre minier (n°BDSTM)
- Site minier (n°BDSTM)
- Quartier minier
- Désordre minier
- Dépôt ponctuel/ Zone de dépôt

Aléa "Effondrement localisé"
- lié aux travaux souterrains :

- ***niveau "MOYEN"***
- ***niveau "FAIBLE"***

- lié aux puits de mine :

- ***niveau "MOYEN"***
- ***niveau "FAIBLE"***

- Travaux souterrains localisés (incertitude non comprise)
- Enveloppe des travaux souterrains localisés (incertitude comprise)
- Zone potentiellement affectée par des travaux miniers souterrains (incertitude comprise)
- Entrée de galerie localisée
- Entrée de galerie matérialisée
- Puits localisé
- Puits matérialisé

Aléa "Glissement"
lié aux dépôts en verse

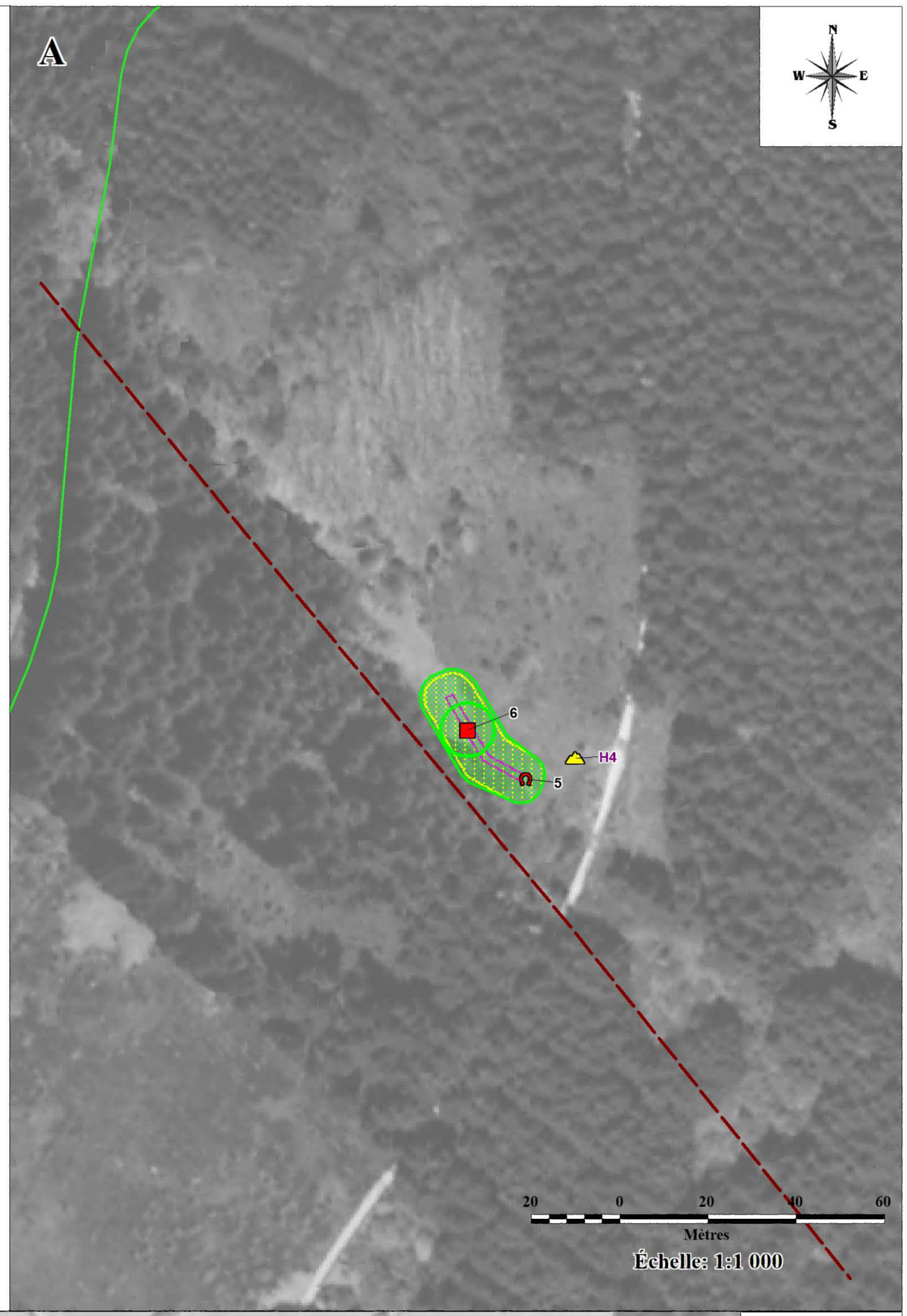
- ***niveau "FAIBLE"***

Aléa "Tassement"
lié aux dépôts

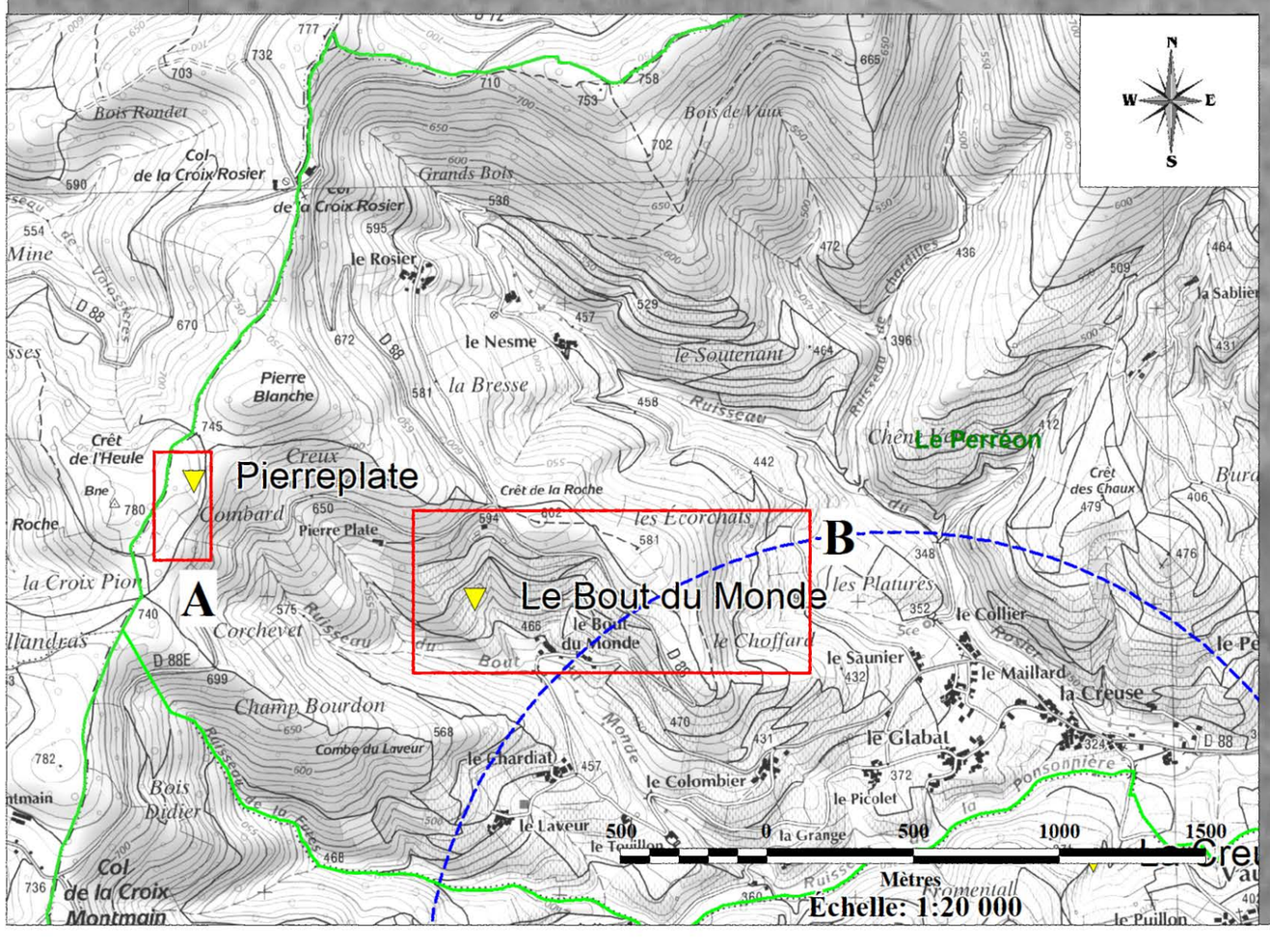
- ***niveau "FAIBLE"***

Fond cartographique : BD ORTHO® de 2008 utilisée conformément aux dispositions prévues par le protocole IGN - MEDAD - MAP de juillet 2007

A



B



GEODERIS

DREAL AURA

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN DU DISTRICT MINIER DE SAINTE PAULE (DÉPARTEMENT DU RHÔNE, 69)

CARTE 4B : CARTE DES ALEAS EFFONDREMENTS LOCALISES, GLISSEMENTS ET TASSEMENTS DE LA COMMUNE DE SAINTE PAULE

Rapport 2019/270DE - 19RHA22030

Légende :

- Limite de commune
- Limite titre minier (n°BDSTM)
- Site minier (n°BDSTM)
- Quartier minier
- Désordre minier
- Dépôt ponctuel/Zone de dépôt
- Travaux souterrains localisés (incertitude non comprise)
- Enveloppe des travaux souterrains localisés (incertitude comprise)
- Zone potentiellement affectée par des travaux miniers souterrains (incertitude comprise)
- Entrée de galerie localisée
- Entrée de galerie matérialisée
- Puits localisé
- Puits matérialisé

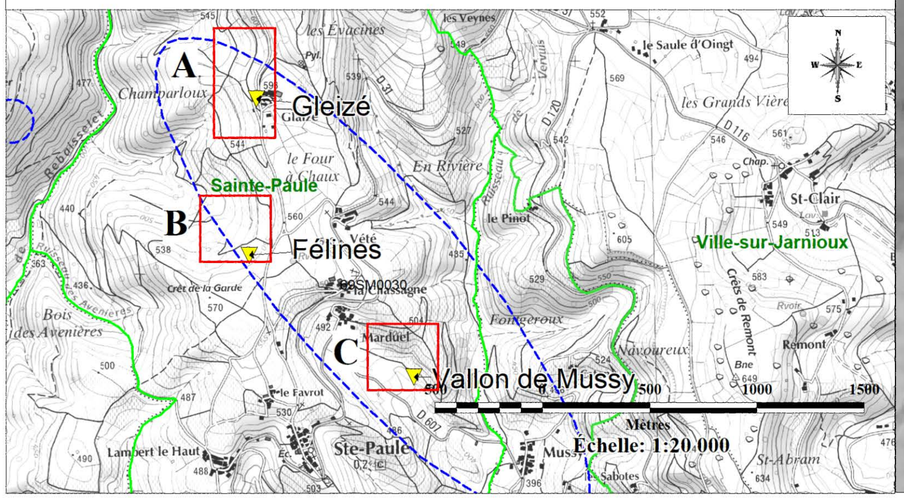
Aléa "Effondrement localisé"
- lié aux travaux souterrains :
- ***niveau "MOYEN"***
- ***niveau "FAIBLE"***

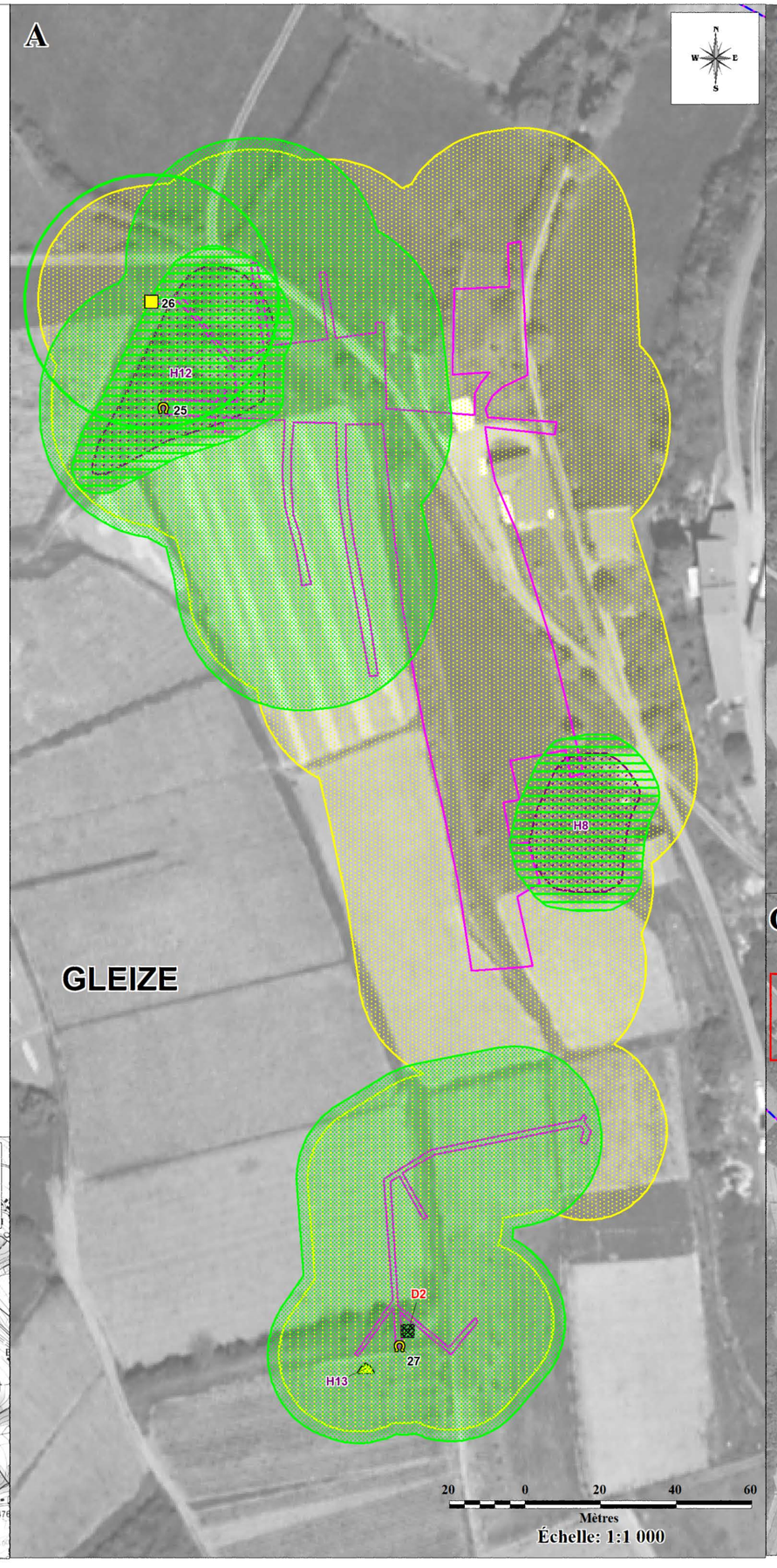
- lié aux puits de mine :
- ***niveau "MOYEN"***
- ***niveau "FAIBLE"***

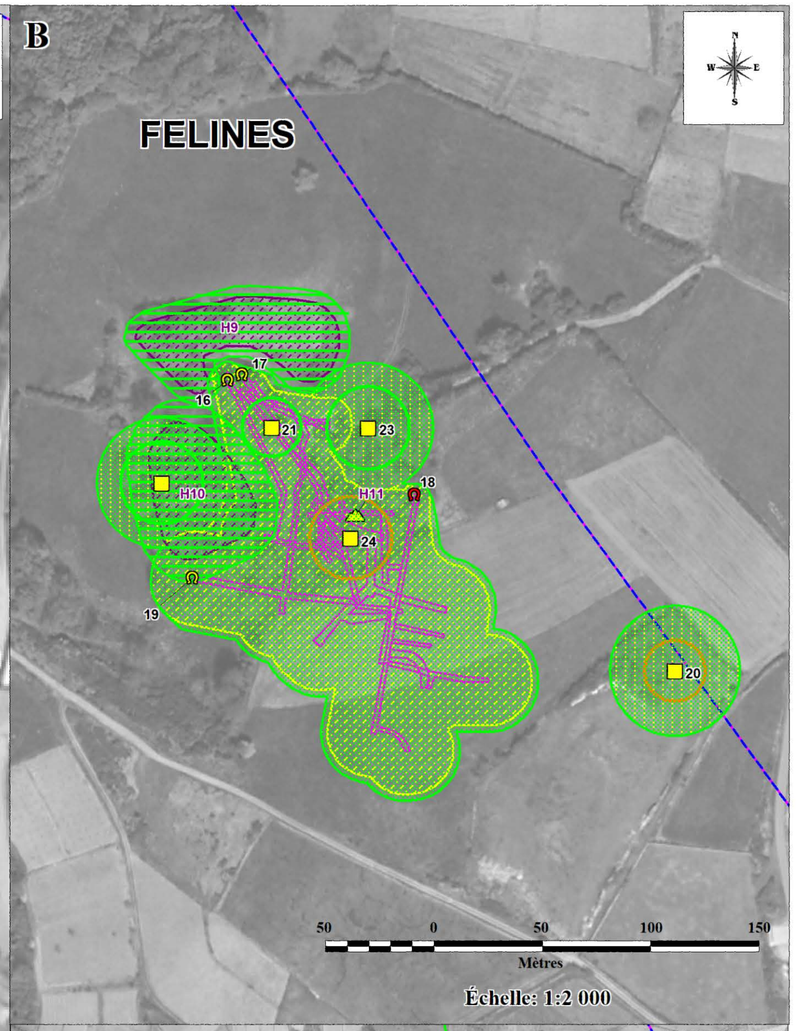
Aléa "Glissement"
lié aux dépôts en verse
- ***niveau "FAIBLE"***

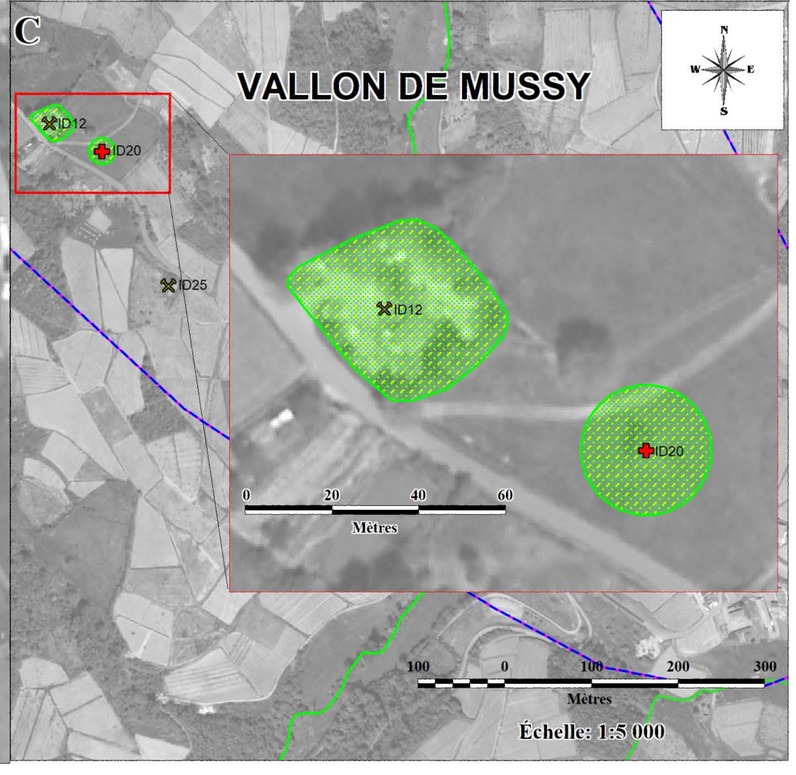
Aléa "Tassement"
lié aux dépôts
- ***niveau "FAIBLE"***

Fond cartographique : BD ORTHO® de 2008 utilisée conformément aux dispositions prévues par le protocole IGN - MEDAD - MAP de juillet 2007









GEODERIS

DREAL AURA

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN DU DISTRICT MINIER DE TERNAND (DÉPARTEMENT DU RHÔNE, 69)

CARTE 4A : CARTE DES ALEAS EFFONDREMENTS LOCALISES, GLISSEMENTS ET TASSEMENTS DE LA COMMUNE DE TERNAND

Rapport 2019/270DE - 19RHA22030

Légende :

- Limite de commune
- Limite titre minier (n°BDSTM)
- Site minier (n°BDSTM)
- Quartier minier
- Désordre minier
- Dépôts
- Travaux souterrains localisés (incertitude non comprise)
- Enveloppe des travaux souterrains localisés (incertitude comprise)
- Zone potentiellement affectée par des travaux miniers soutterrains (incertitude comprise)
- Entrée de galerie localisée
- Entrée de galerie matérialisée
- Puits localisé
- Puits matérialisé

Aléa "Effondrement localisé" - lié aux travaux souterrains :

- ***niveau "MOYEN"***
- ***niveau "FAIBLE"***

- lié aux puits de mine :

- ***niveau "MOYEN"***
- ***niveau "FAIBLE"***

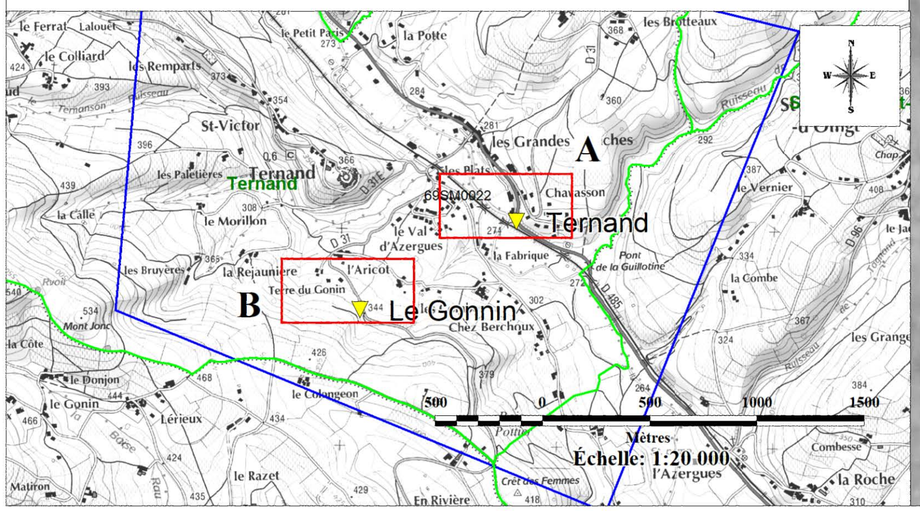
Aléa "Glissement" lié aux dépôts en verse

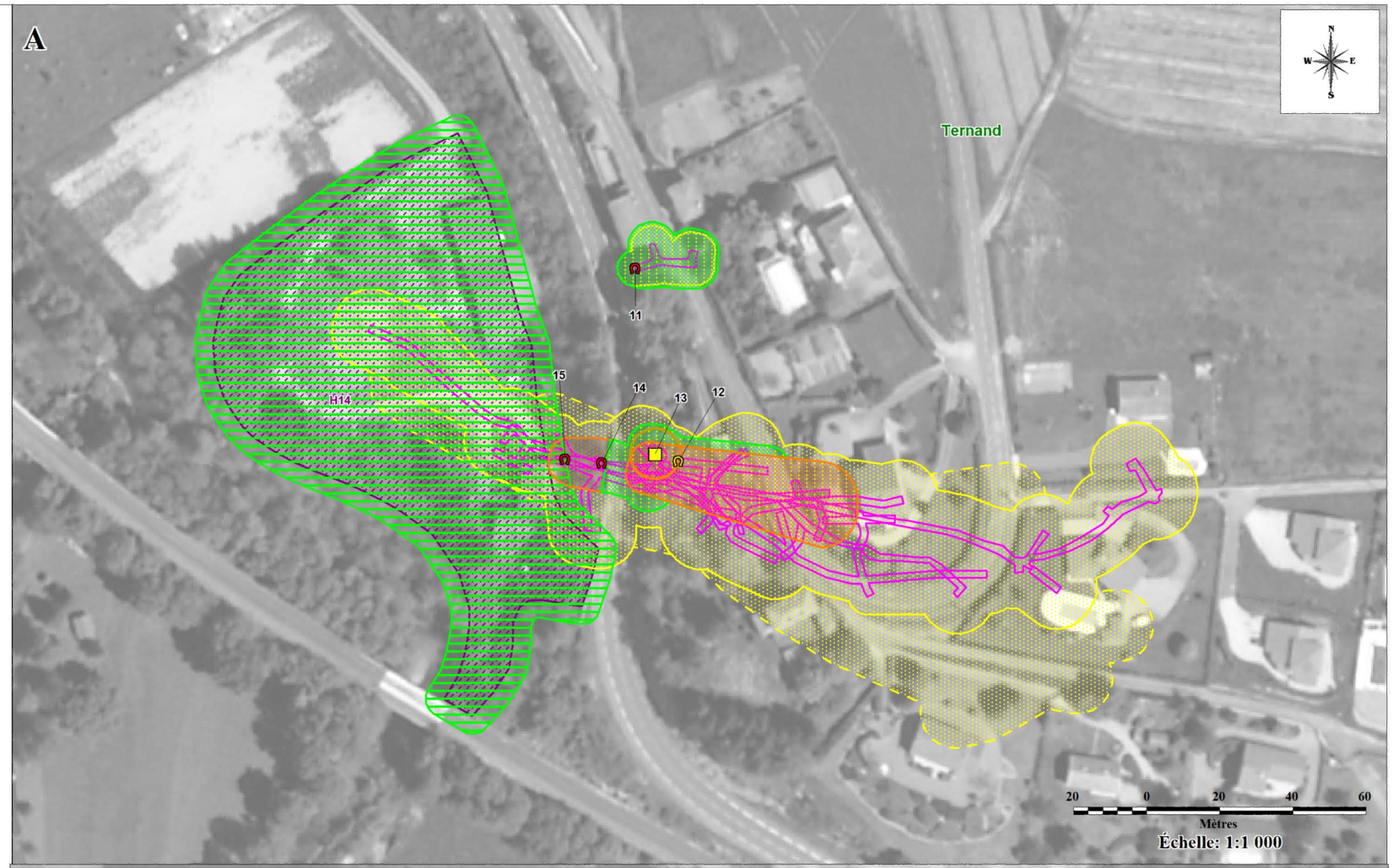
- ***niveau "FAIBLE"***

Aléa "Tassement" lié aux dépôts

- ***niveau "FAIBLE"***

Fond cartographique : BD ORTHO® de 2008 utilisée conformément aux dispositions prévues par le protocole IGN - MEDAD - MAP de juillet 2007





GEODERIS

DREAL AURA

ÉTUDE DÉTAILLÉE DES ALÉAS MOUVEMENT DE TERRAIN DU DISTRICT MINIER DE BERCHOUX (DÉPARTEMENT DU RHÔNE, 69)

CARTE 4E : CARTE DES ALEAS EFFONDREMENTS LOCALISES, GLISSEMENTS ET TASSEMENTS DE LA COMMUNE DE VAUX-EN-BEAUJOLAIS

Rapport 2019/270DE - 19RHA22030

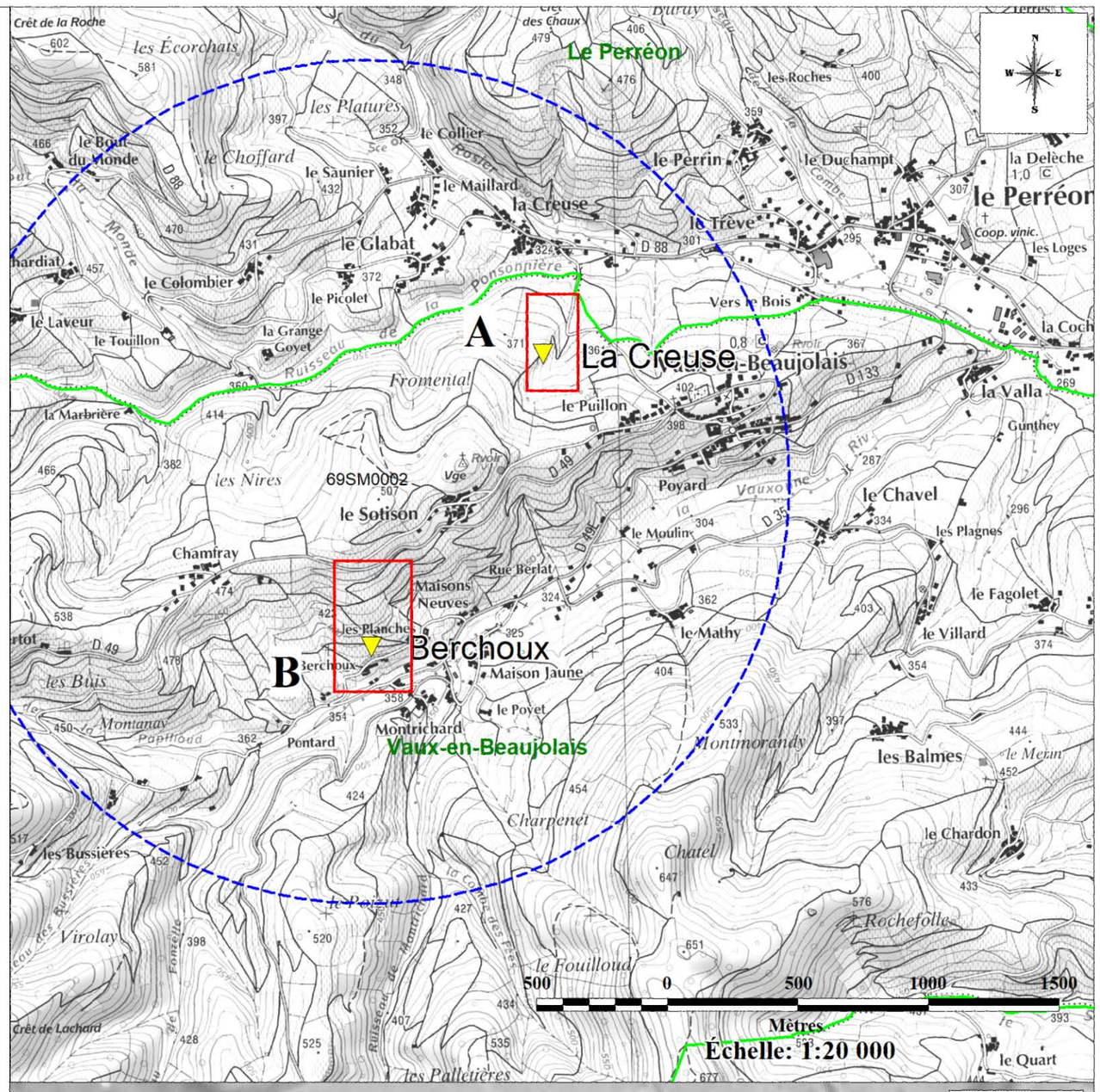
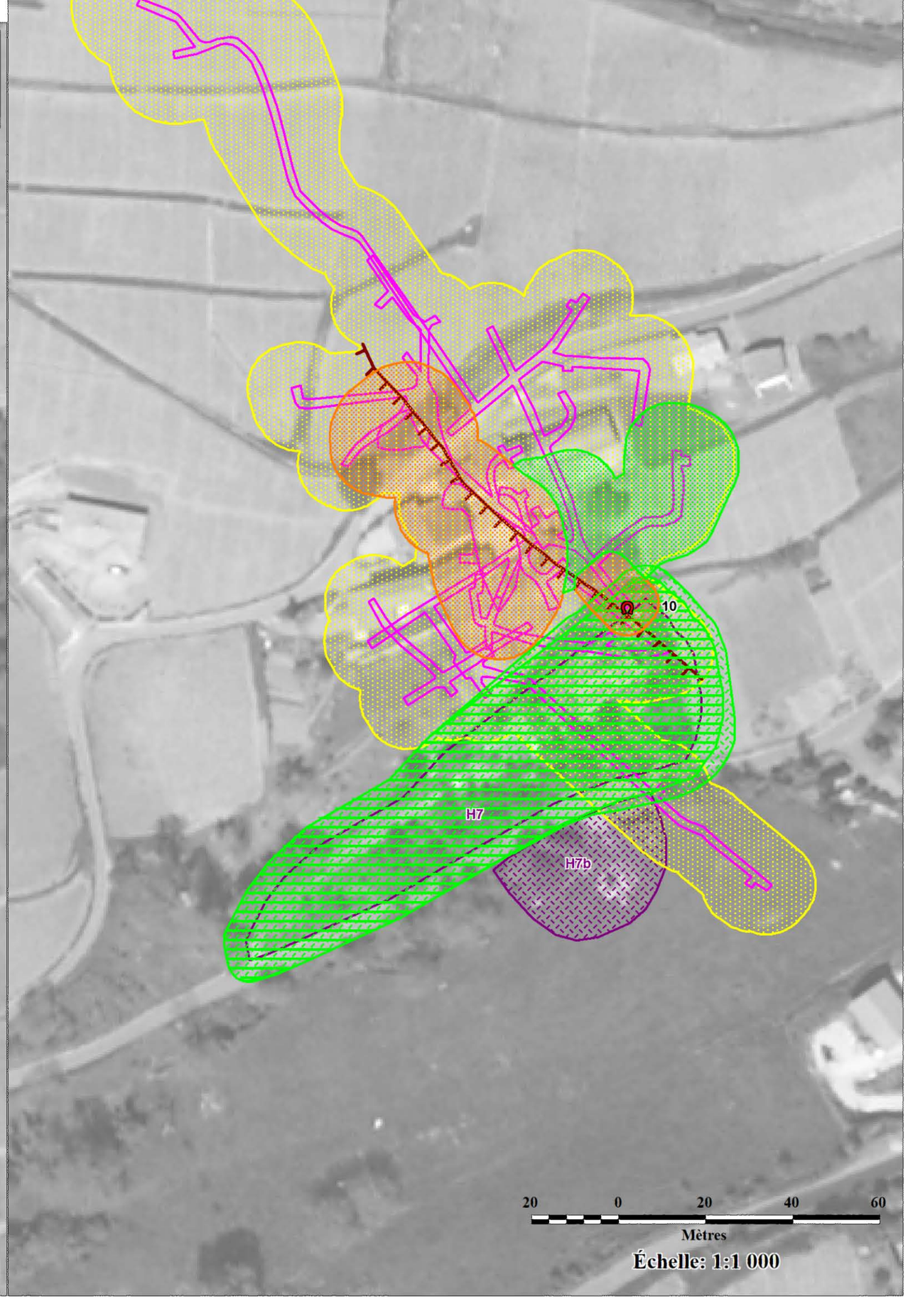
Légende :

- Limite de commune
- Limite titre minier (n°BDSTM)
- Site minier (n°BDSTM)
- Quartier minier
- Désordre minier
- Dépôts
- Travaux souterrains localisés (incertitude non comprise)
- Enveloppe des travaux souterrains localisés (incertitude comprise)
- Zone potentiellement affectée par des travaux miniers soutterrains (incertitude comprise)
- Entrée de galerie localisée
- Entrée de galerie matérialisée
- Puits localisé
- Puits matérialisé

Aléa "Effondrement localisé"
- lié aux travaux souterrains :
- ***niveau "MOYEN"***
- ***niveau "FAIBLE"***

- lié aux puits de mine :
- ***niveau "MOYEN"***
- ***niveau "FAIBLE"***

Aléa "Glissement"
lié aux dépôts en verse
- ***niveau "FAIBLE"***

Aléa "Tassement"
lié aux dépôts
- ***niveau "FAIBLE"***

Fond cartographique : BD ORTHO® de 2008 utilisée conformément aux dispositions prévues par le protocole IGN - MEDAD - MAP de juillet 2007