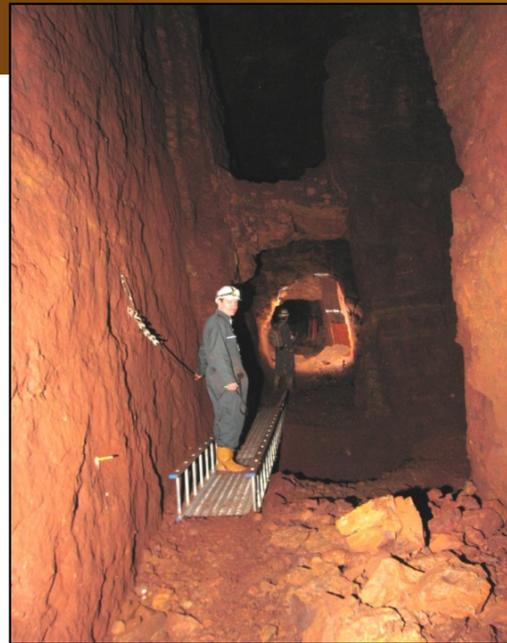


Les cavités minières : de l'évaluation de l'aléa au traitement du risque

Le 4 mai 2017



Plan de l'exposé

- Contexte général
- Etudes d'aléas : Principes et méthodes
- La gestion du risque
- Exemple de traitement du risque

▪ Une longue histoire minière

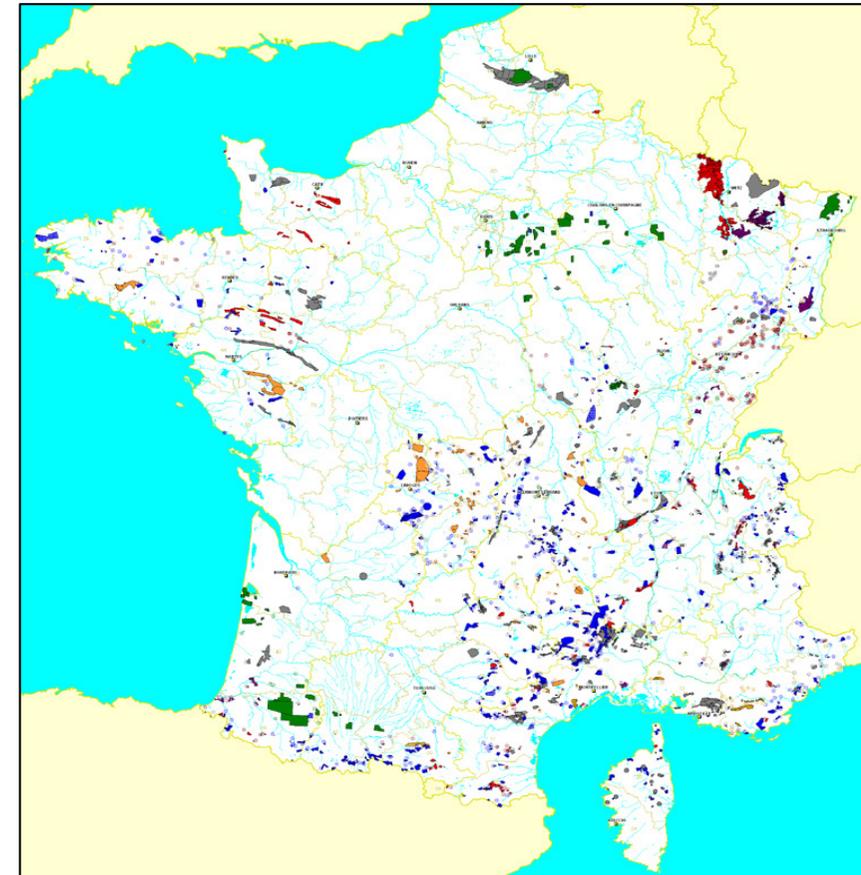
- Depuis le néolithique (mines métalliques celtiques et gallo-romaines)
- Petites exploitations peu profondes
- Développement des grands bassins au XIX^{ème}
- Diversification, approfondissement, extinction fin XX^{ème}

Un retour à l'état initial impossible

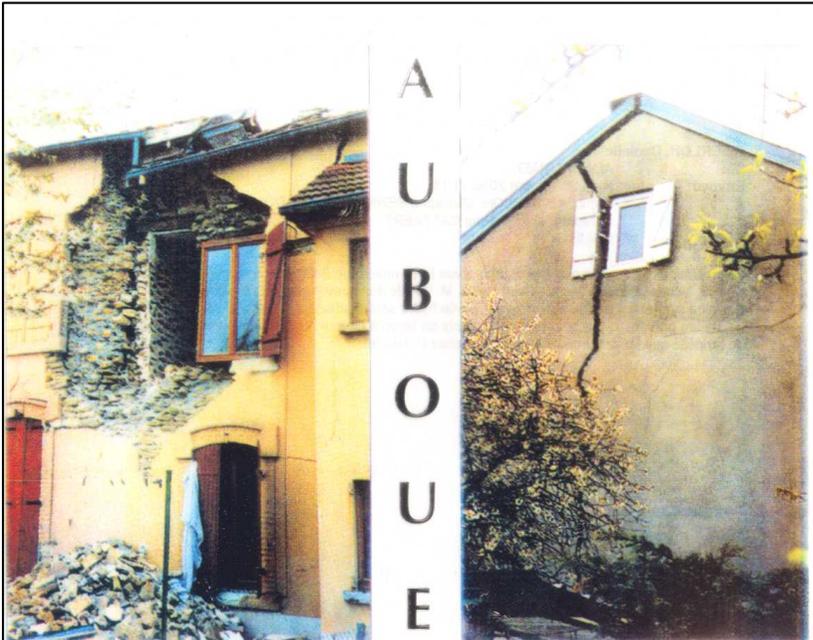
Les modifications profondes

- Topographie
- Sous-sol
- Hydrologie

Un problème pérenne et variable suivant les régions (5000 titres miniers en France)



Affaissement Auboué 1996 82 familles évacuées dans l'urgence



A
U
B
O
U
E

Novembre 1996
rue de Metz

VILLE
SINISTREE



3.001

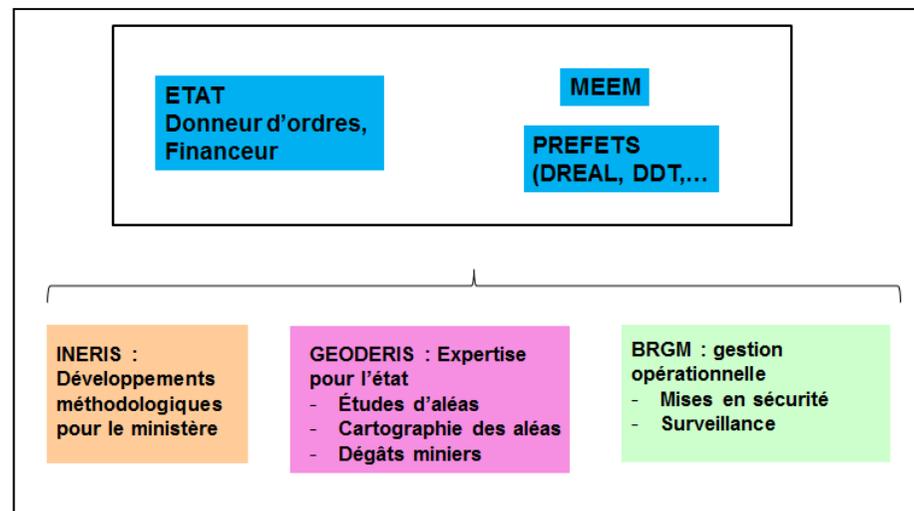
Stratégie de l'état

▪ Loi du 30 mars 1999

- Extension de la responsabilité de l'exploitant dans le temps et l'espace
- Mise en place de la surveillance si le risque est non traitable, reprise par l'Etat à l'arrêt par la concession
- Plans de Prévention des Risques Miniers (décret du 16 juin 2000)
- *Agence de Prévention et Surveillance (disparue depuis)*

▪ Création de structures

- Rassembler les compétences
- Développer les connaissances
- Disposer de moyens opérationnels
- Conserver l'information et la mémoire



- Contexte général
- **Etudes d'aléas : Principes et méthodes**
- La gestion du risque
- Exemple de traitement du risque

Notions d'aléa et de risque

Aléa

Phénomène redouté atteignant une intensité donnée avec une certaine probabilité d'occurrence

Probabilité = prédisposition ou sensibilité du site au phénomène

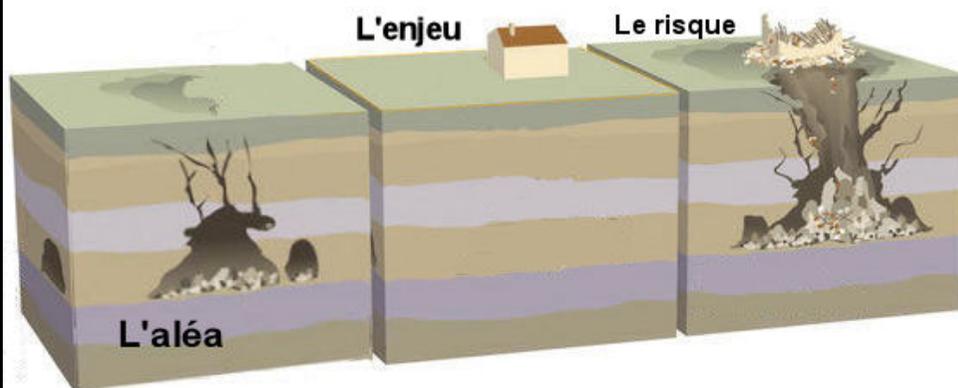
Risque

Conséquences de la survenance d'un aléa sur les enjeux existants (personnes, biens, activités...)

Croisement entre l'aléa et la vulnérabilité

Vulnérabilité

Niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène sur les enjeux (fonction de l'intensité du phénomène)



Un guide de référence téléchargeable sur le site de l'INERIS

<http://www.ineris.fr/rapports-d%C3%A9tude/rapports-d%C3%A9tude/risques-sols-et-sous-sols>

RAPPORT D'ÉTUDE

04/05/2006

DRS-06-51198/R01

L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers

Guide Méthodologique

Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa

Les risques de mouvements de terrain, d'inondations et d'émissions de gaz de mine

INERIS

GEODERIS

CSTB
le futur en construction

sciences pour une terre durable
brgm

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINES PARIS
ParisTech

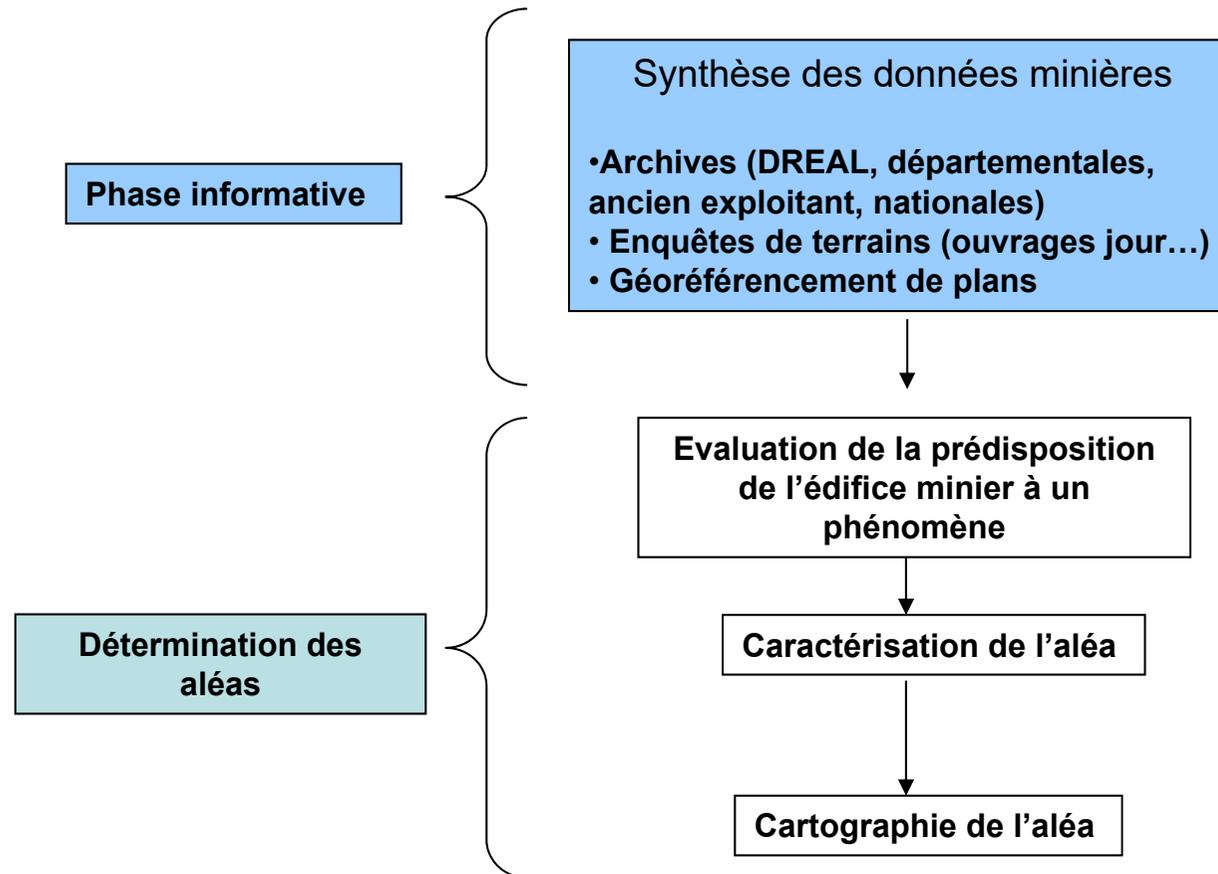
Ce guide méthodologique a été réalisé à l'initiative du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, copiloté par la Direction Générale de la Prévention des Risques et la Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature.

- Description des phénomènes attendus, qualification (intensité, prédisposition), principes cartographiques,
- Modalités de collecte des données, notion d'incertitude

Un guide qui s'inspire des méthodologies existantes pour les autres aléas

Comme pour les autres aléas, le recours à des investigations complémentaires devra être réduit au strict minimum. Pour ce qui concerne l'aléa mouvements de terrain, les informations les plus fondamentales concernent principalement la localisation des exploitations et la persistance de vides au sein des vieux travaux.

La démarche d'évaluation des aléas

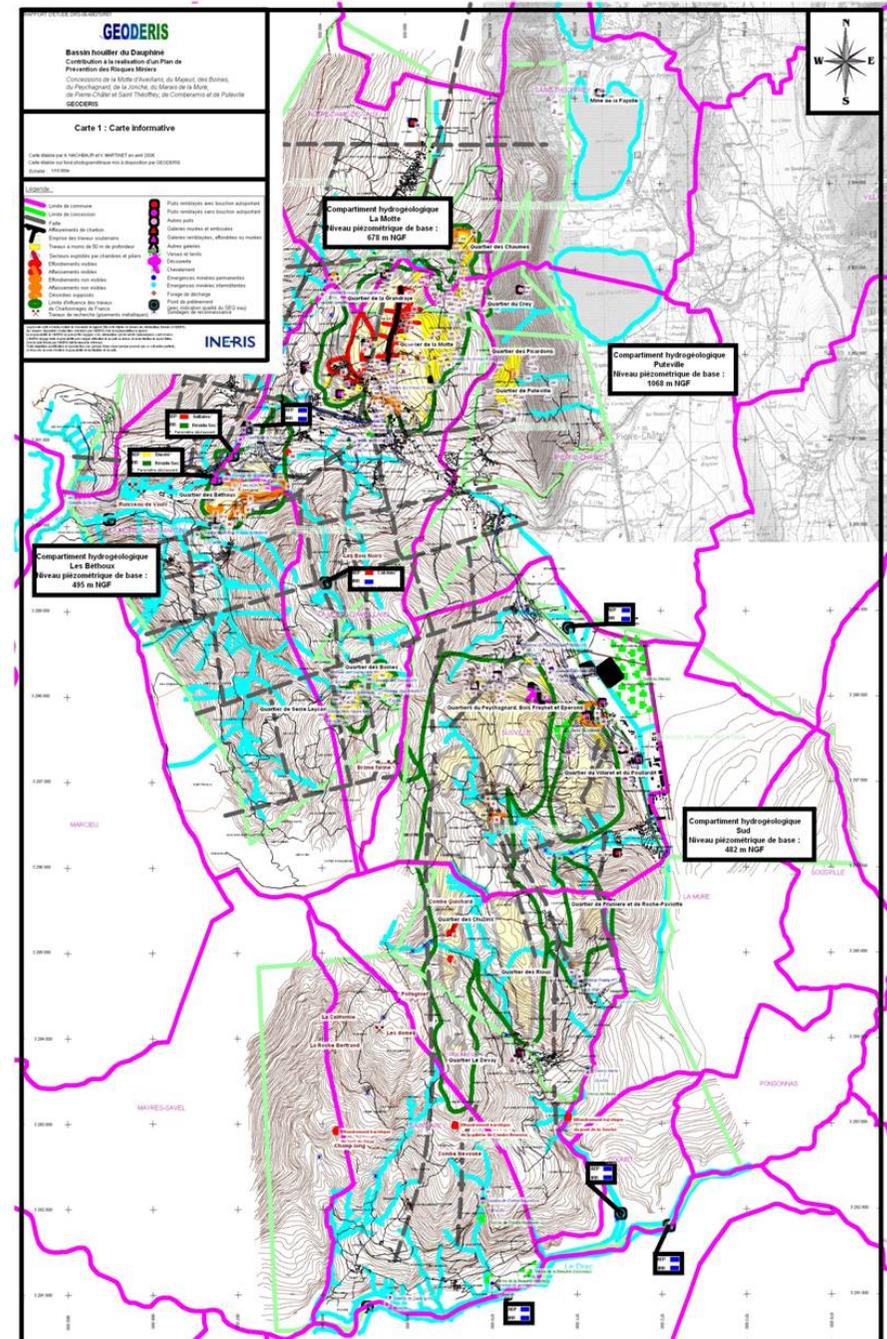
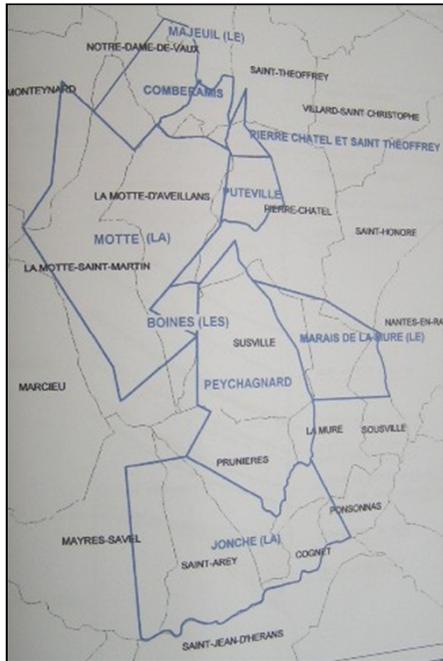


L'étude et la carte des aléas localisent et hiérarchisent les zones exposées à des phénomènes potentiels redoutés. Les aléas sont classés selon plusieurs niveaux, en tenant compte de la nature des phénomènes, de leur prédisposition d'occurrence et de leur intensité.

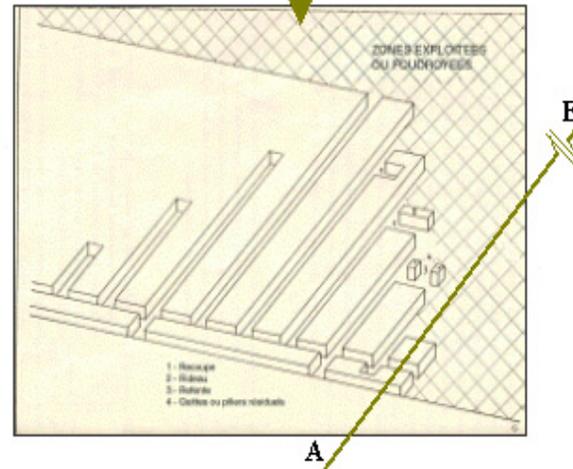
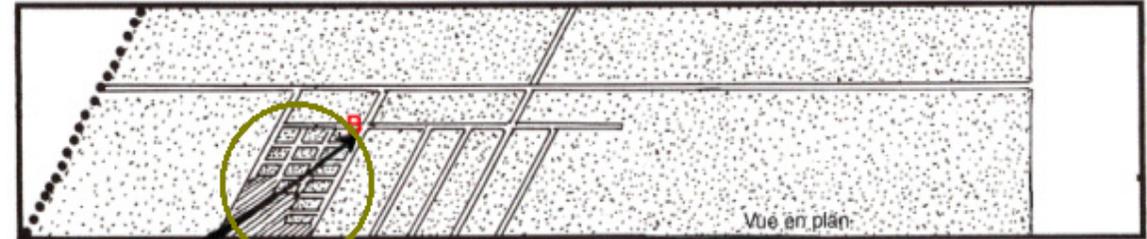
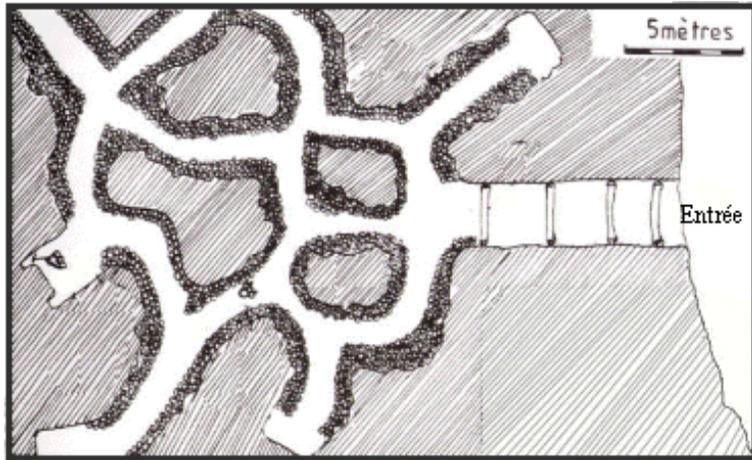
L'étude d'aléas n'intègre pas la nature de l'occupation de la surface. Elle transcrit, de manière objective, le potentiel de dangers ou de nuisances que l'ancienne exploitation minière est susceptible d'engendrer, à terme, dans le secteur d'étude.

La phase informative

- 1 – Archives (DREAL, DPSM, Exploitants, Archives Notariales, Départementales, communales.....)
- 2 - Calage initial des plans
- 3 - Visites de sites
- 4 - Recalage définitif



But : Recueillir les données relatives au milieu, et surtout savoir comment la mine a été exploitée et quels sont les vides résiduels (lieu, état)
Données géoréférencées



Les données recueillies sont éparées et diverses. Les techniques d'exploitation, souvent décrites dans les PV de visite des ingénieurs des mines sont soigneusement étudiées dans l'optique de l'évaluation des aléas.

L'évaluation des aléas

- 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 d'un aléa repose donc sur le croisement de l'**intensité** prévisible du phénomène avec sa **probabilité d'occurrence** (predisposition)

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

Guide méthodologique
 INERIS-DRS-06-51198/R01

- L'intensité du phénomène caractérise l'ampleur des désordres attendus en surface en cas de déclenchement d'un événement redouté
- La prédisposition d'un site à l'apparition de désordres ou nuisances est évaluée en fonction de paramètres caractérisant l'environnement du secteur considéré et la technique d'exploitation utilisée, autant de facteurs exprimant la « sensibilité » d'un site

Les aléas miniers

■ Mouvements de terrain

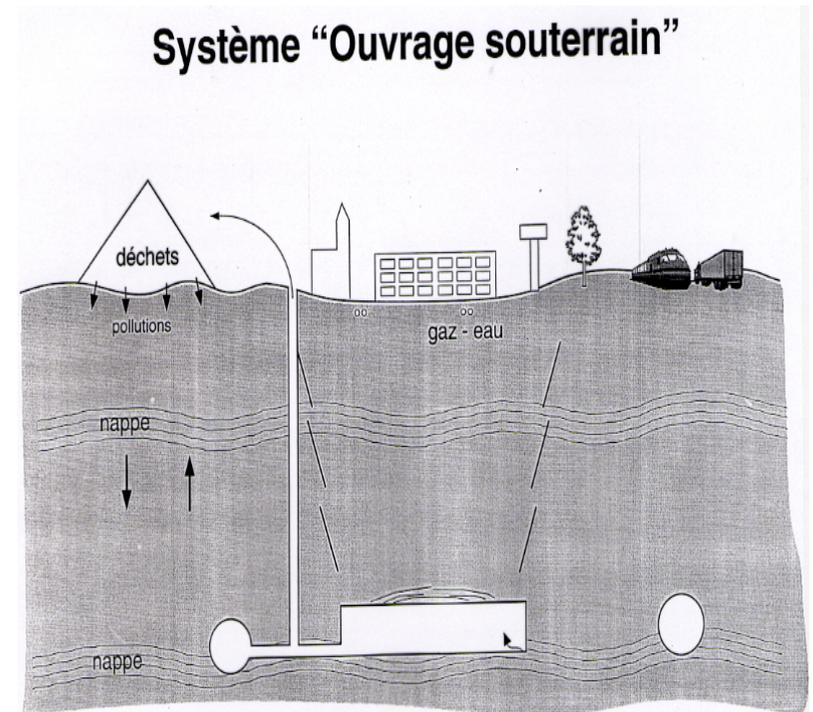
- Effondrement localisé (fontis, rupture de tête de puits, rupture de piliers...)
- Affaissement progressif
- Effondrement brutal
- Tassements

■ Les eaux

- Perte d'une ressource en eau
- Modification du régime hydrographique
- Inondations
- Effet déclencheur d'un mouvement de terrain

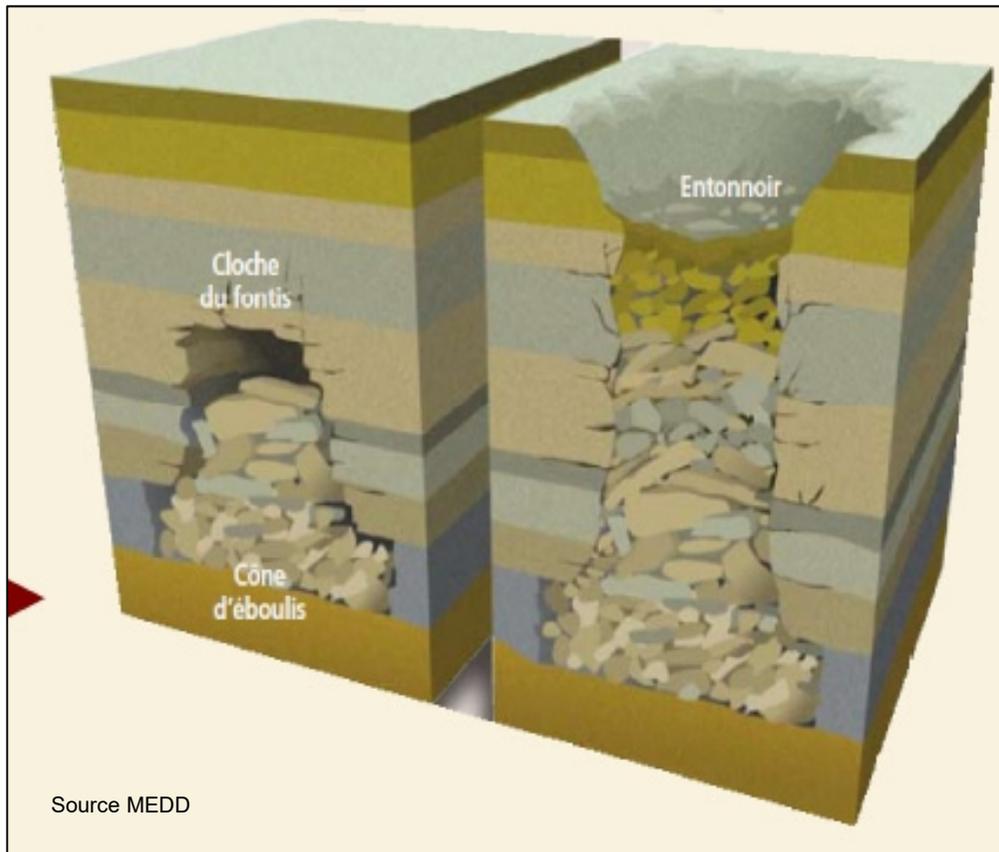
■ Émanation de gaz de mine

- Grisou / CO₂



Exemple de l'effondrement localisé – 2 mécanismes de formation :

- Le fontis (sur galerie ou après rupture de pilier)
- La rupture de tête ou déboufrage de puits



Source MEDD

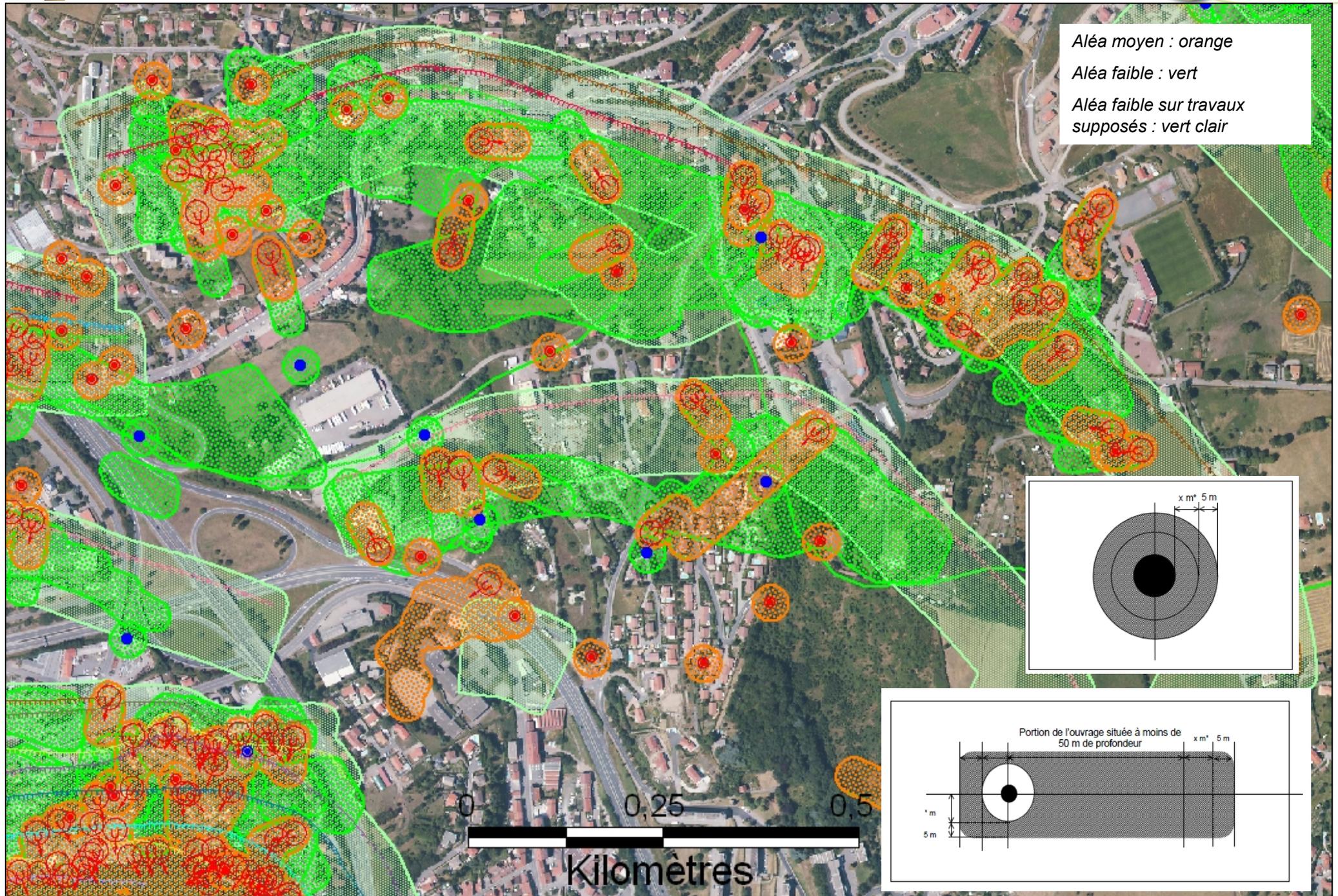
- 1 – Chute de bloc
Montée de voûte
- 2 – Cheminée de remontée
- 3 – Cratère en surface

Intensité	Diamètre de l'effondrement
Très limitée	Effondrements auto-remblayés à proximité immédiate de la surface
Limitée	< 3 m
Modérée	3 m < diamètre < 10 m
Elevée	> 10 m

Grille d'évaluation de l'intensité (guide méthodologique)

Diamètre du fontis (en m)	Intensité	Prédisposition			
		Très peu sensible	Peu sensible	Sensible	Très sensible
	Très limitée	Rien ou aléa « tassement » [⊙]	Rien ou aléa « tassement » [⊙]	Aléa « tassement » [⊙]	Aléa « tassement » [⊙]
D < 3	Limitée	Faible	Faible	Faible	Moyen
3 < D < 10	Modérée	Faible	Faible	Moyen	Fort
D > 10	Elevée	Faible à Moyen	Moyen	Fort	Fort

Phénomène retenu au droit des galeries et travaux peu profonds (30 m voire 50 m)



Résultat cartographique



Juin 2003 : effondrement dans la concession du Treuil



Juillet 2003 : effondrement localisé près d'un Mac Donald
Concession du Cros)



Décembre 2007 : fontis de l'ADAPEI
Concession de Méons



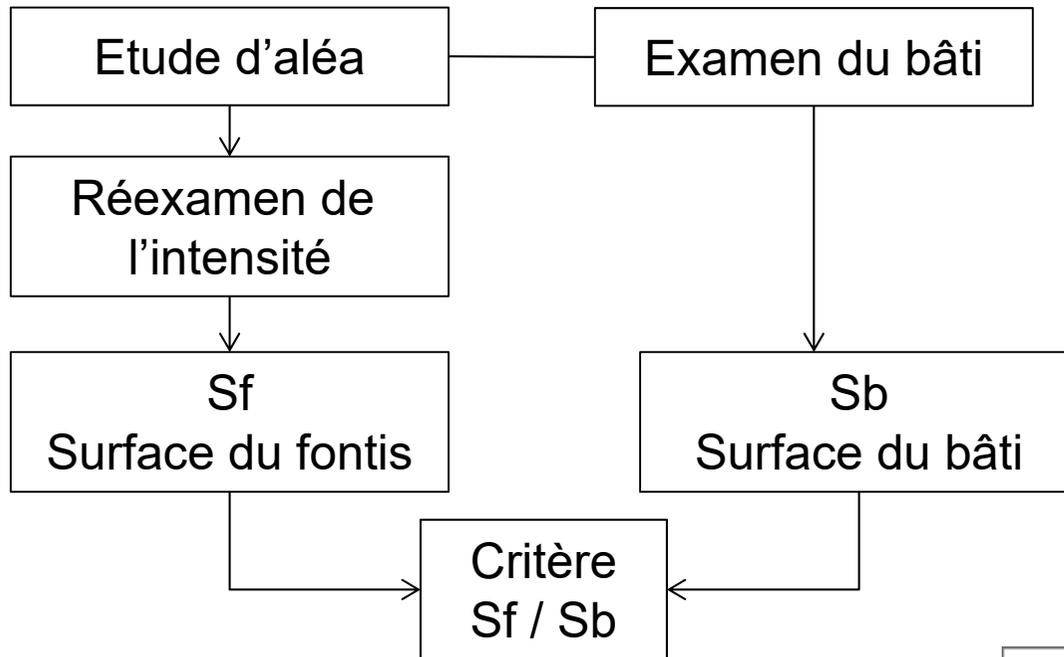
Mars 2009 : reprise d'effondrement du Mac Donald



Montjean sur Loire, 2013

En cas d'aléa moyen ou fort, hiérarchisation des habitations concernée pour étude de risque

- Contexte général
- Etudes d'aléas : Principes et méthodes
- La gestion du risque
- Exemple de traitement du risque

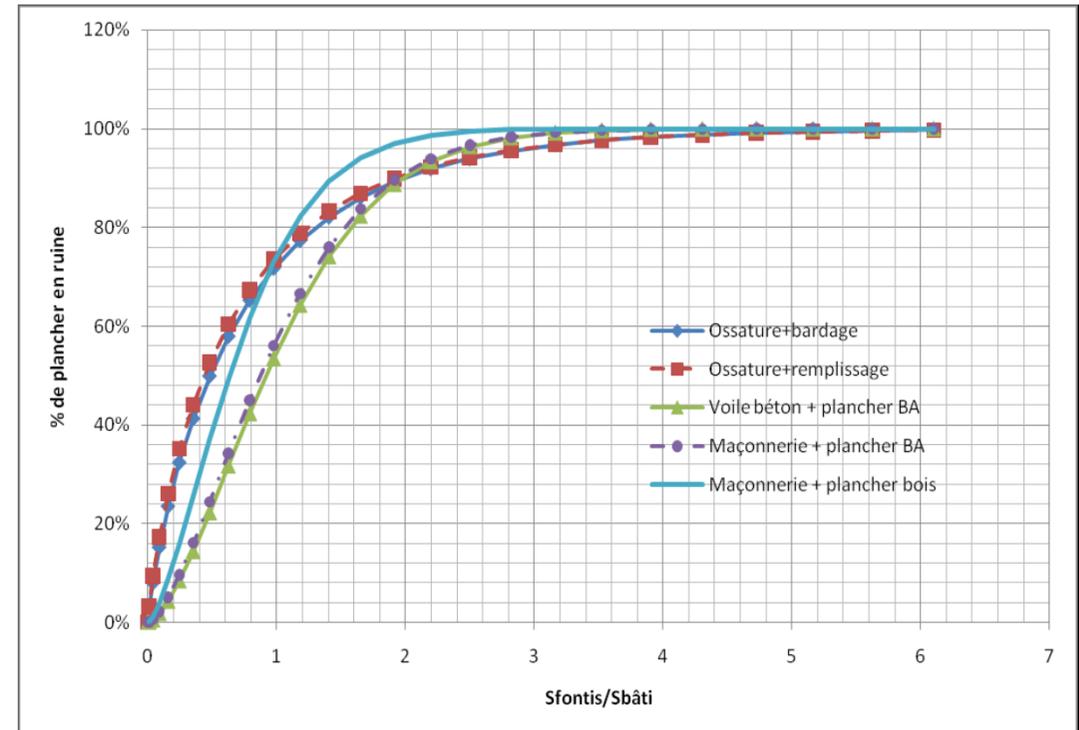


Vulnérabilité du bâti			
0 - 0,05	0,05 - 0,20	0,20 - 0,35	> 0,35
Très faible	Faible	moyenne	Forte

Risque pour les personnes		
Vulnérabilité bâti	Bâti individuel	Bâti collectif
Très faible	Nul	Faible
Faible	Faible	Moyen
Moyenne	Moyen	Fort
Forte	Fort	Fort

%ruine

Etude de vulnérabilité du bâti (CSTB)



Si risque moyen ou fort confirmé, lancement de l'EDR (étude de risque)

- Concerne principalement l'aléa effondrement localisé mais pas toujours
- L'objectif principal est de lever les incertitudes : sur l'existence de travaux miniers souterrains, leur localisation ou leurs caractéristiques
- Les investigations peuvent être de nature variées : sondages, mesures géophysiques, études géotechniques, enquête de terrain approfondie, archives...
- Hiérarchisation nationale effectuée depuis 2012

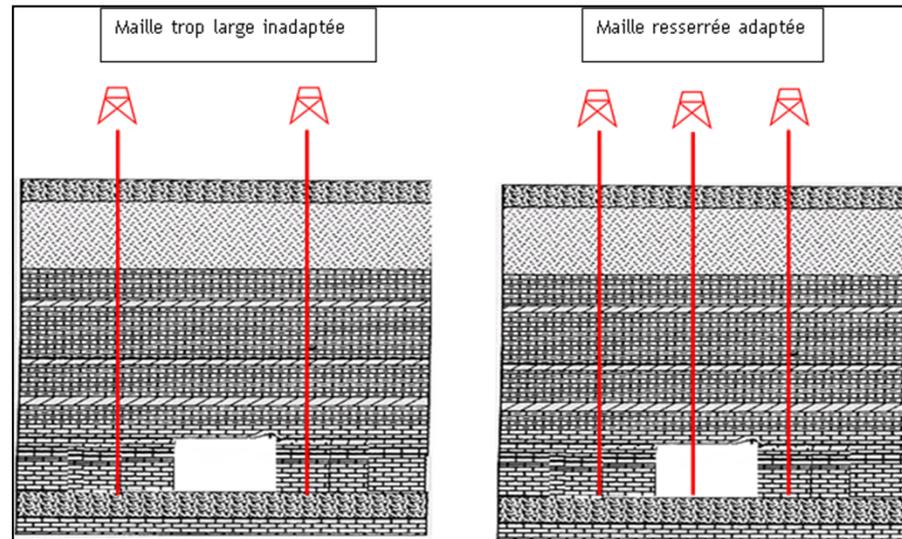
Objectifs :

- Confirmer ou infirmer la présence de vides souterrains ou d'indices ;
- Préciser la localisation des vides souterrains ;
- Caractériser les vides ;
- Localiser, dans certains contextes, une couche minéralisée.

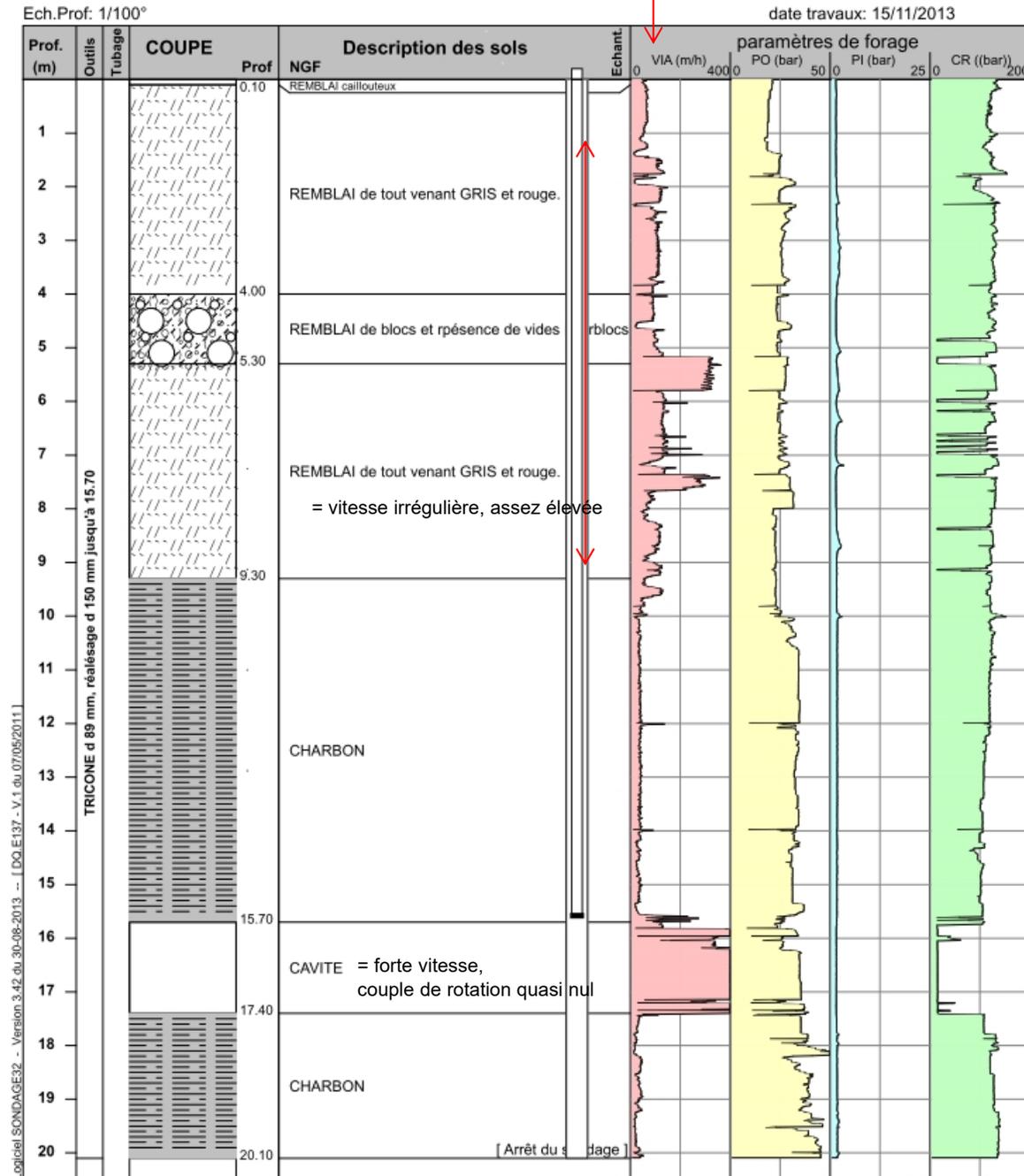
Le choix du nombre de sondages et de leur implantation dépend :

- De la géométrie prévue des vides souterrains suspectés ;
- Du rapport de la surface des vides sur la surface totale à investiguer

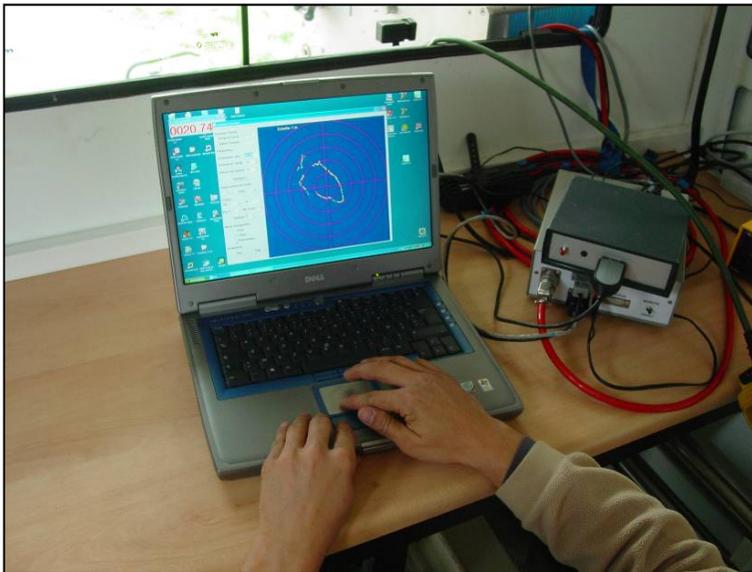
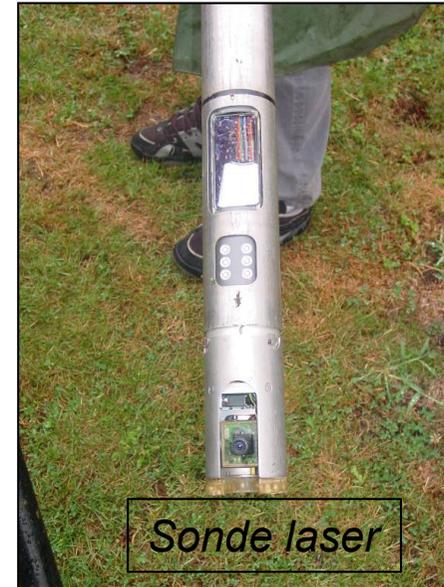
La profondeur des forages doit dépasser de 5 à 10 m la profondeur supposée des travaux



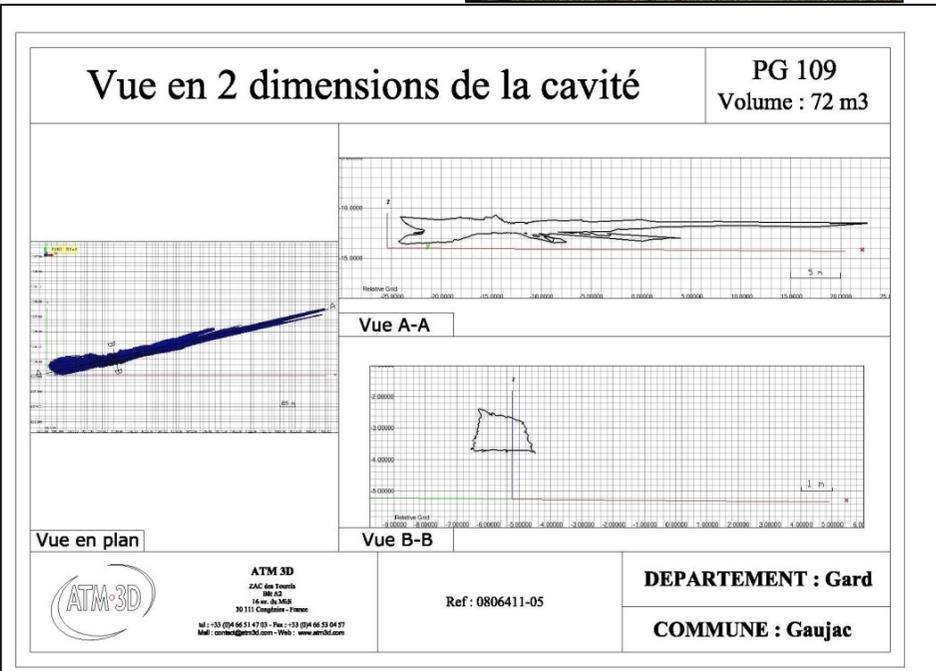
- Opérations de forage sont codifiées par la norme NFP 94-500 classant les missions géotechniques ainsi qu'au DTU en vigueur
- Choix de la technique de forage (roto-percussion, tricône, marteau fond de trou...) dépend de la nature géologique des terrains à traverser
- Forages réalisés généralement en petit diamètre (de l'ordre de 60 mm), verticalement et à vitesse constante et ré-alésé si nécessaire. Ils sont systématiquement accompagnés d'enregistrements de paramètres à l'avancement :
 - La vitesse instantanée d'avancement (ou vitesse de pénétration) : Vi ou Vi.A ;
 - La poussée sur l'outil : P.O. ;
 - La pression d'injection de fluide : P.I. ;
 - Le couple de rotation : C.R. ;
 - La vitesse de rotation : Vr ;
 - Le débit du fluide d'injection.
- Si cavité mesurable, tubage du forage pour investigations



Les auscultations en sondage (photos, sonar, laser)



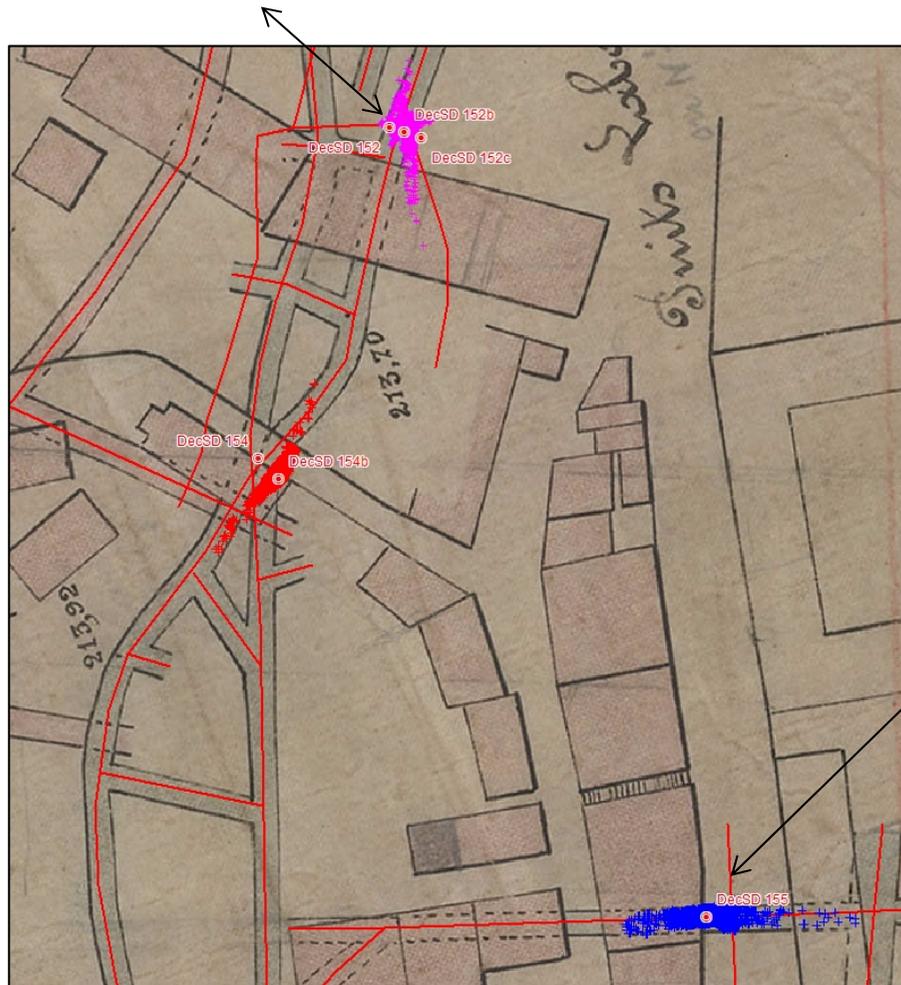
Acquisition





Panorama (360°) en sondage : SD152 b – croisement de galerie à 10 m de profondeur sous les cafés de la place de Decazeville

Secteur plateau – Cavité 1,2 m de vide résiduel, 1,4 m de large – reconnue vide sur 14 m

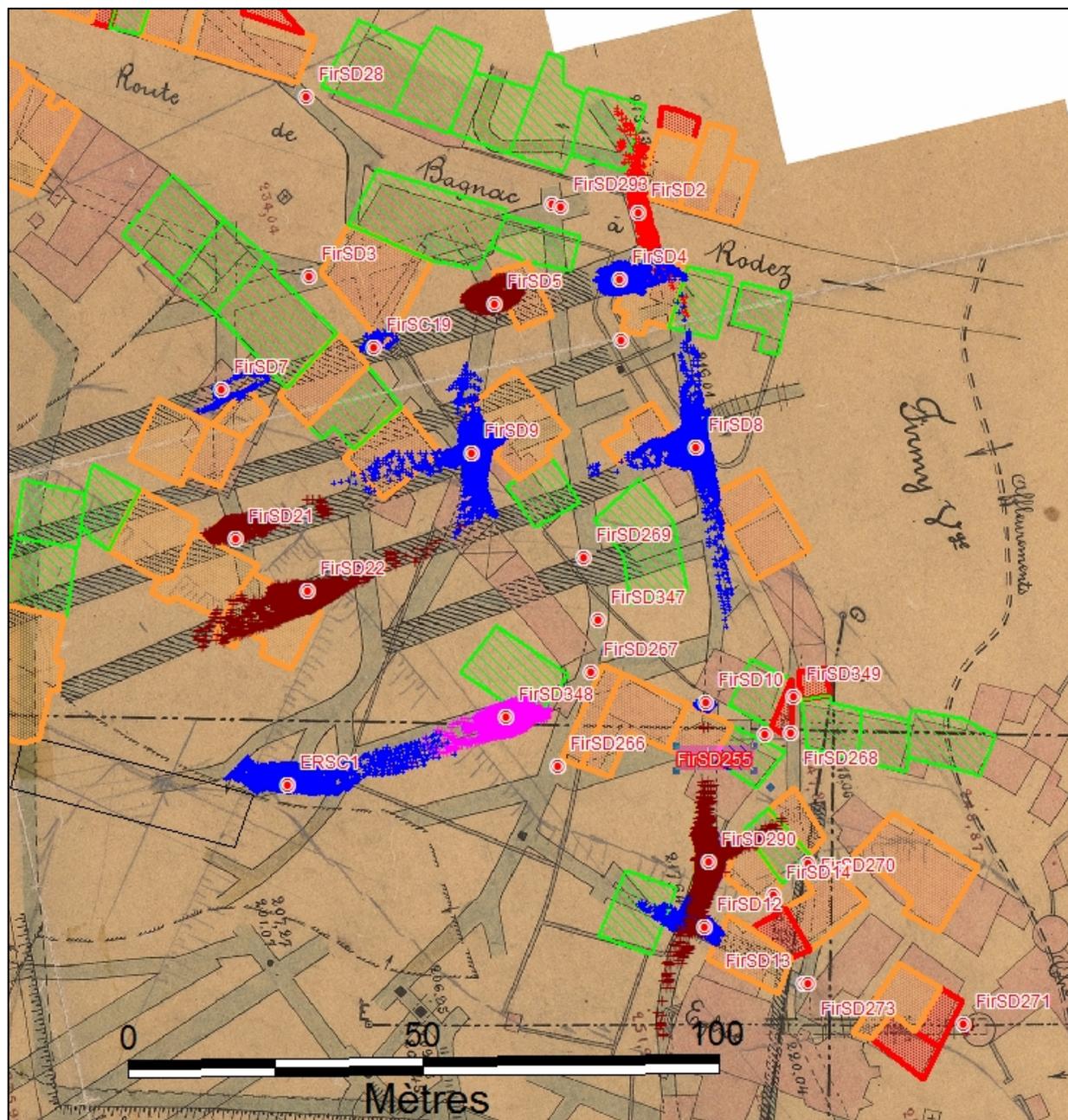


Vue vers l'Ouest

SD155 – galerie à 10 m de profondeur - Hauteur vide résiduel 1,8 m, largeur 2,5 m – Cavité reconnue sur 22 m de longueur



Vue vers l'Est



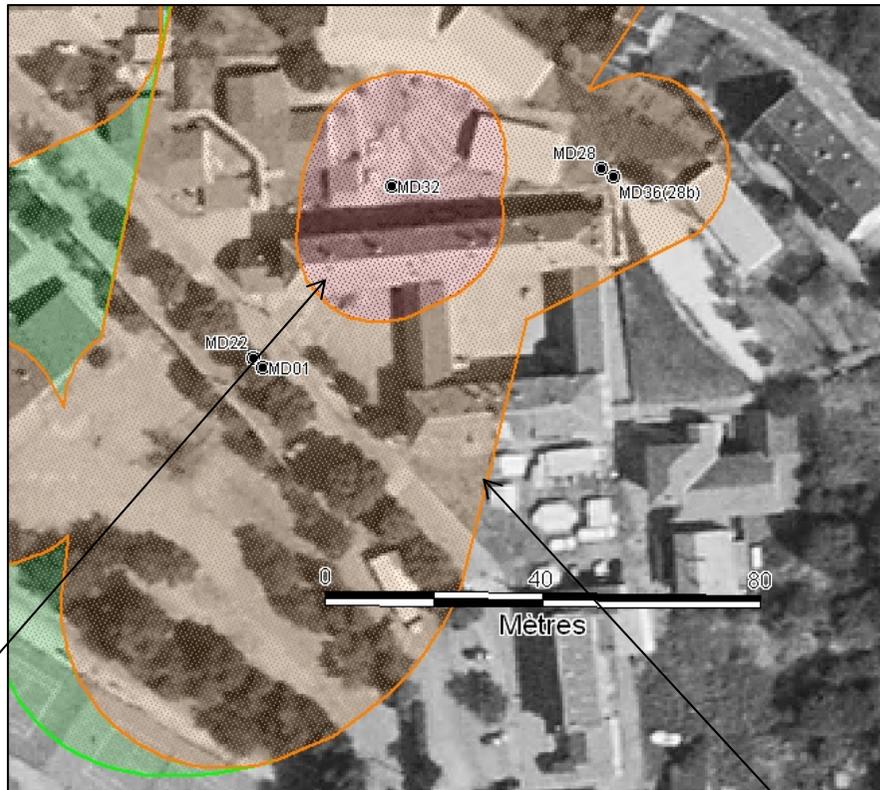
Géoréférencement des cavités sonar dimensionnées sous le bourg de Firmi (12)

Après intégration des profondeurs et taille des galeries, et prise en compte des conditions géologiques, réévaluation du risque

- Contexte général
- Etudes d'aléas : Principes et méthodes
- La gestion du risque
- Exemples de traitement du risque

Les modes de gestion du risque sont la surveillance, le comblement, ou l'expropriation. Le confortement des enjeux est très rare.

Nous présenterons ici deux exemples de comblement, l'un sans accès au fond (école de la Motte d'Aveillans (38) sur galeries de mine de charbon), l'autre avec accès au fond (chambre d'une mine de fer à May sur Orne(14)).



Ecole la Motte d'Aveillans - aléa effondrement localisé



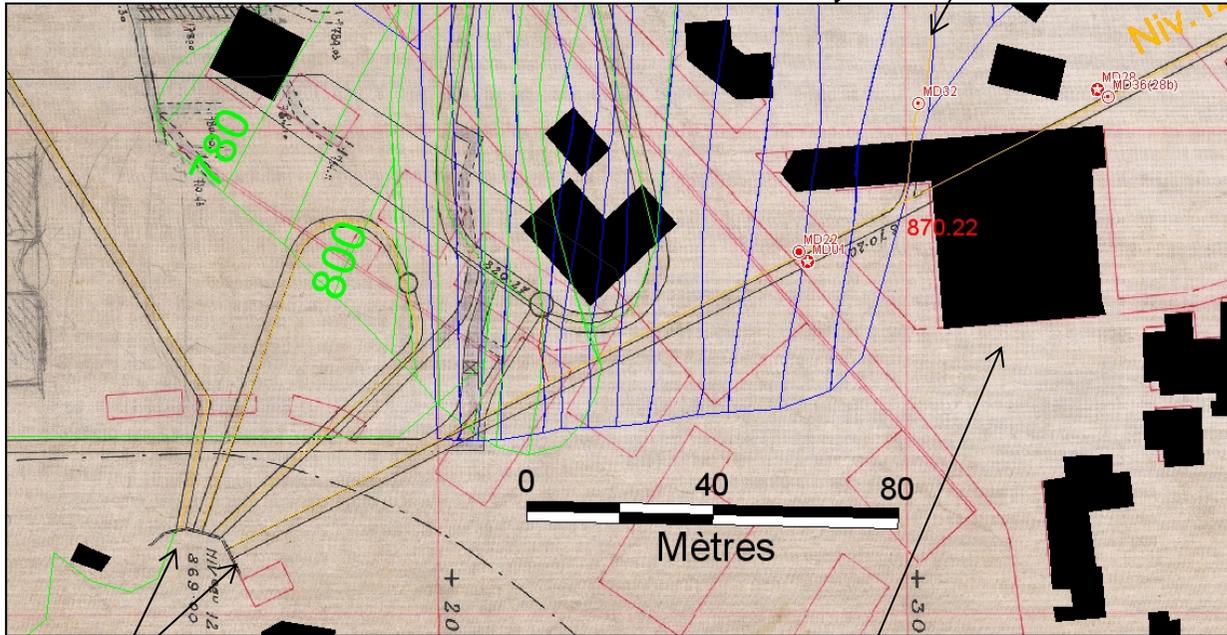
*May sur Orne, 1 maison et une route sous cavée
Mine de fer au toit des grès armoricains, structure subverticale
Avec couverture triasique discordante*

Aléa fort

Aléa moyen

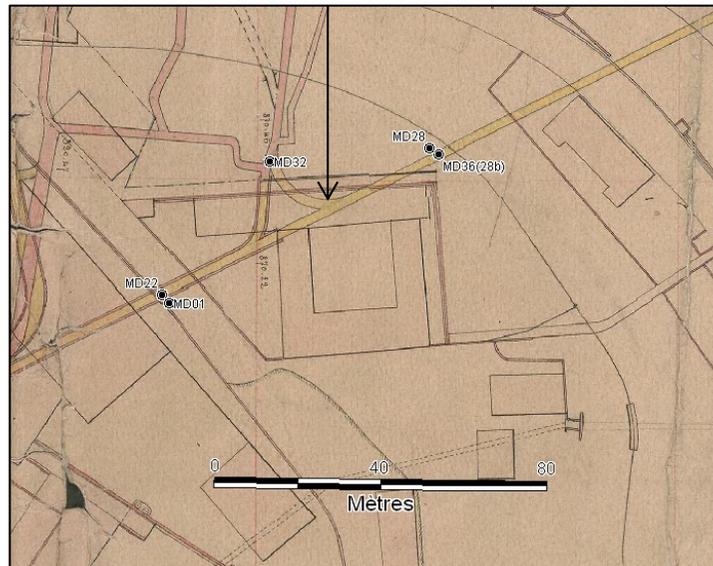
Cas 1 : La Motte d'Aveillans

Isocote 850 NGF Isocote 870 NGF

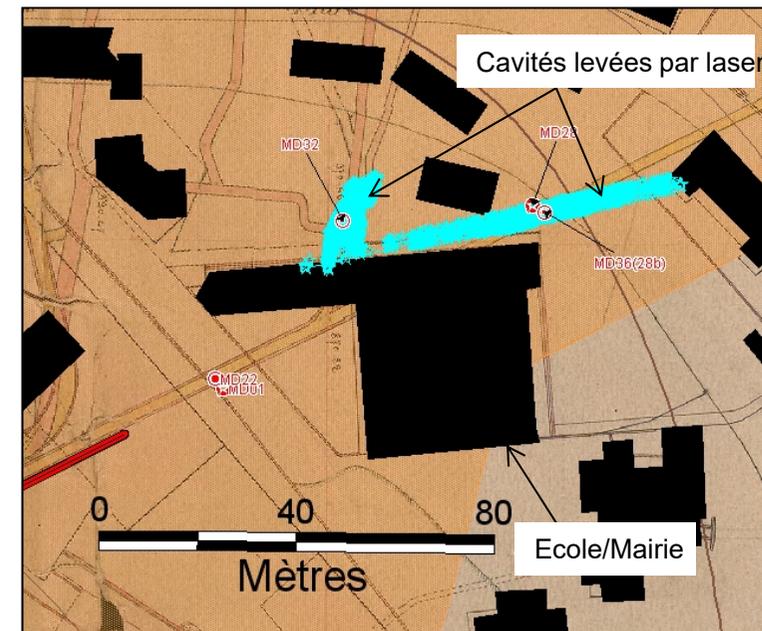
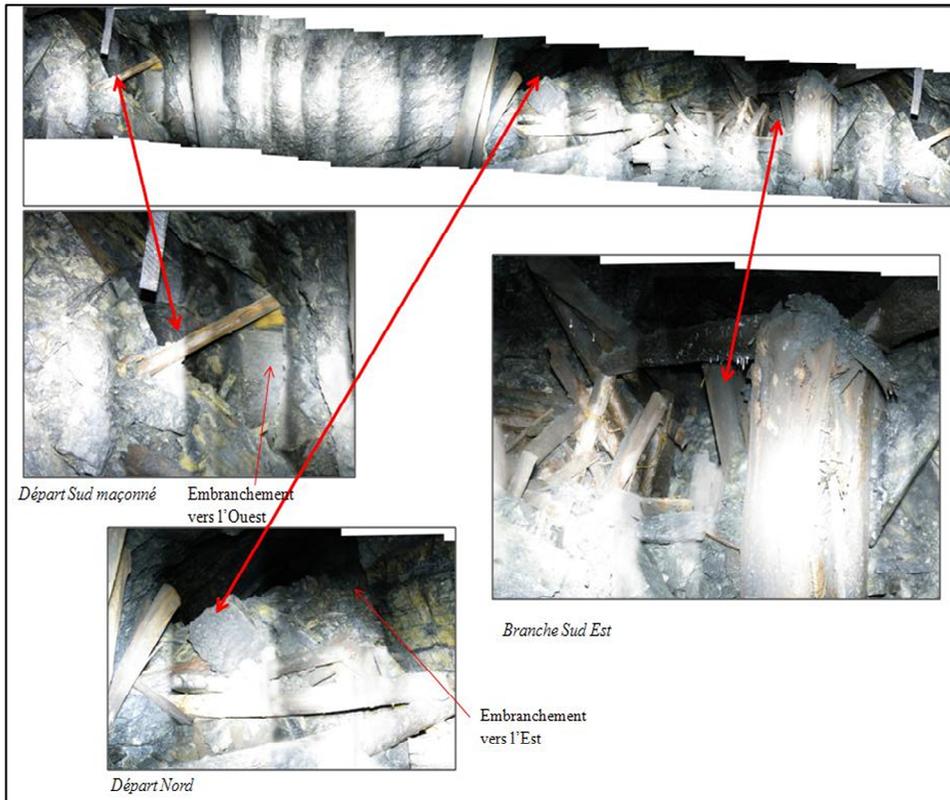


4 Galeries du Niveau 12

Mairie-Ecole

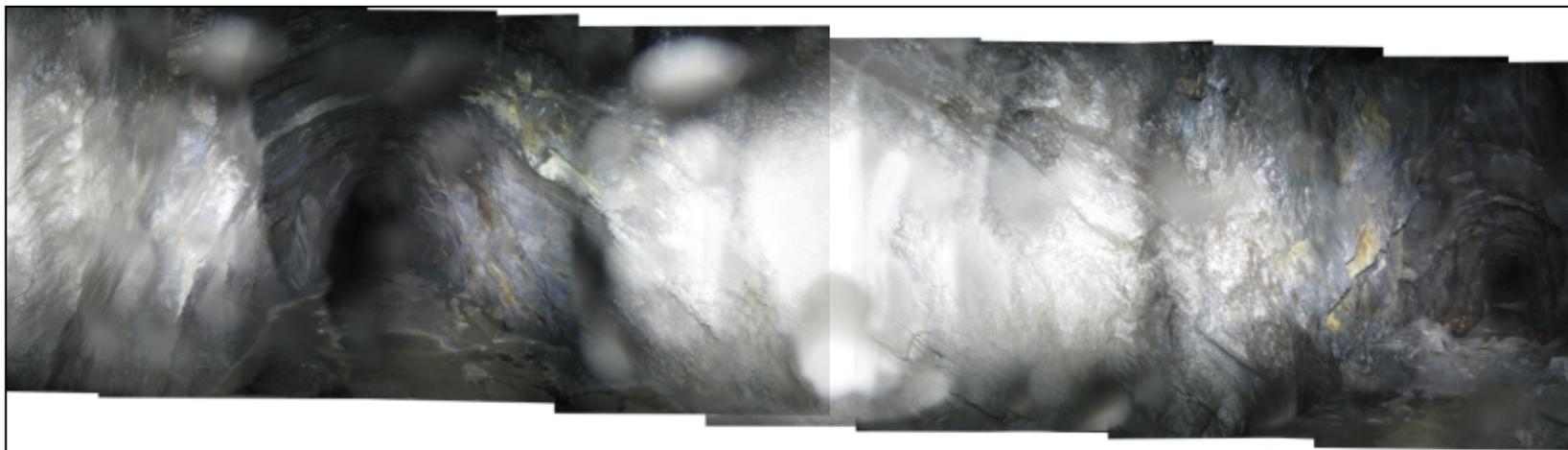


Plusieurs galeries et croisements de galeries sous faible couverture saine (10 à 15 m) couvert d'une dizaine de mètres de remblais. Bâtiment en bordure de défilage, déjà affecté par l'exploitation



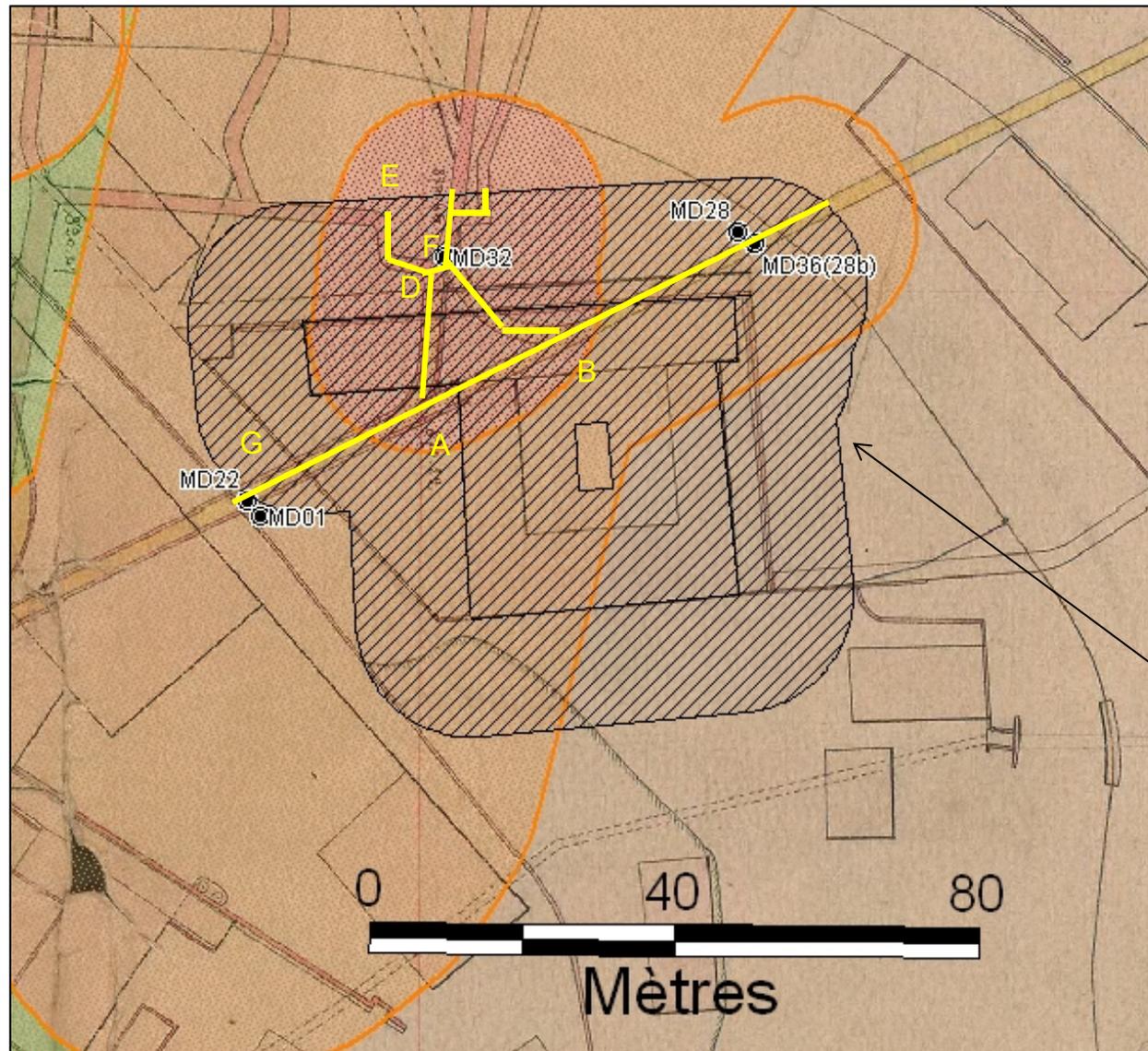
En orange, aléa effondrement localisé de niveau moyen

Cavité recoupée par le sondage MD 32 (26,5 m de profondeur, y compris 10 m de terrains altérés ou remblais en surface
Volume 45 m³)



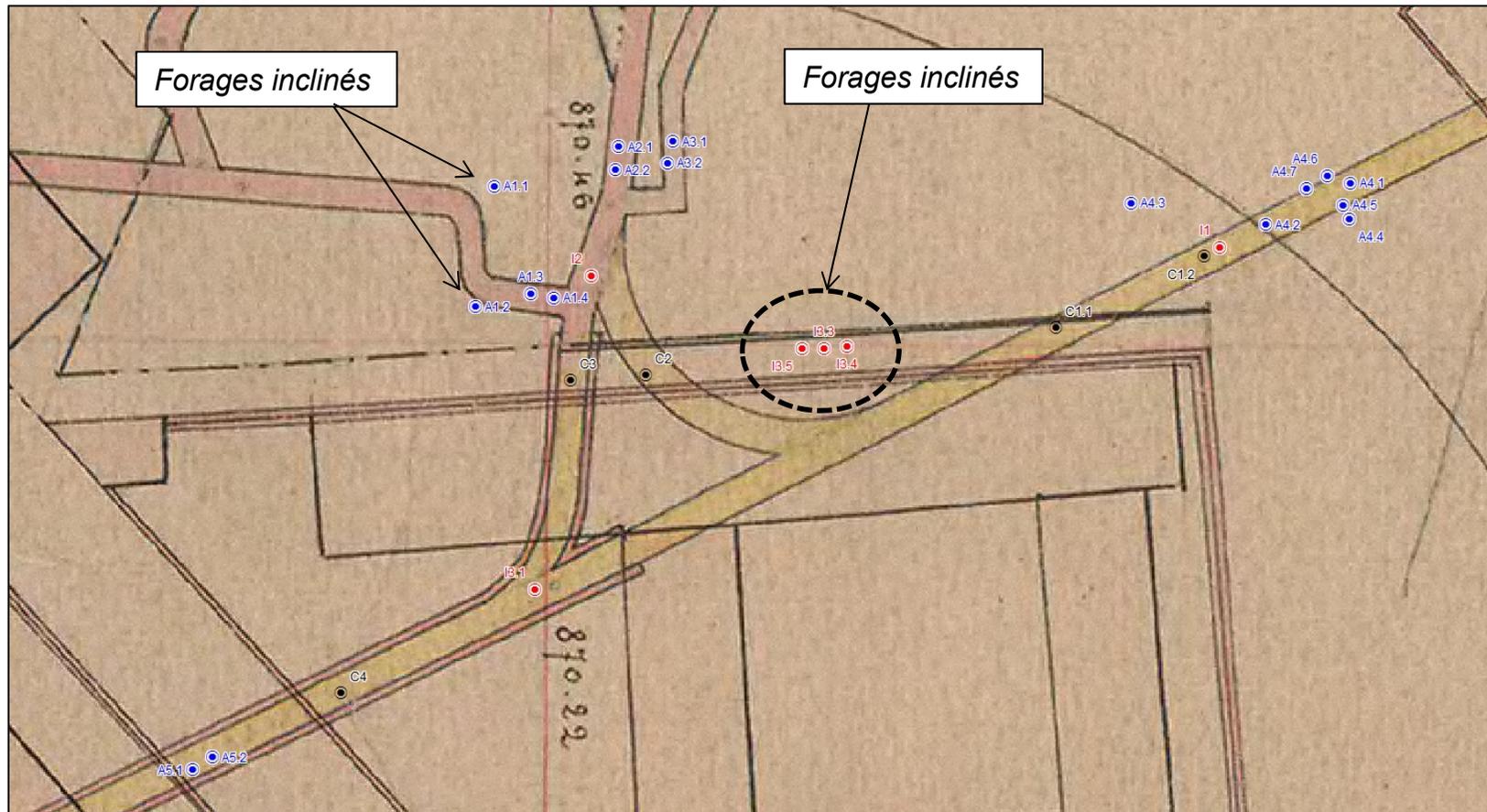
Cavité recoupée par le sondage MD 36 (30 m de profondeur, y compris 15 m de terrains altérés ou remblais en surface, volume 204 m³)

Objectif : comblement par forages et injection de coulis de tout le réseau de galeries (présence de 22% CO₂ dans les galeries), marge de sécurité de 15 m



*Marge de sécurité de 15 m
autour des façades*

Dispositif réalisé



En bleu sondages pour édification des barrages
En rouge sondages d'injection
En noir sondages de contrôle

Total : 28 sondages réalisés, 232 m³ de coulis épais pour barrage, 1000 m³ de coulis de comblement injectés.

Problème rencontrés (budget +40 %) : présence de murs intermédiaires dans les galeries, pertes par la fracturation des terrains liée aux travaux (évoquées en avant projet), gabarit des ouvrages irréguliers (volume 2 fois supérieur à l'estimation initiale), fortes pluies pendant les travaux (galeries avec écoulement, normalement sèches)



Foreuse en station

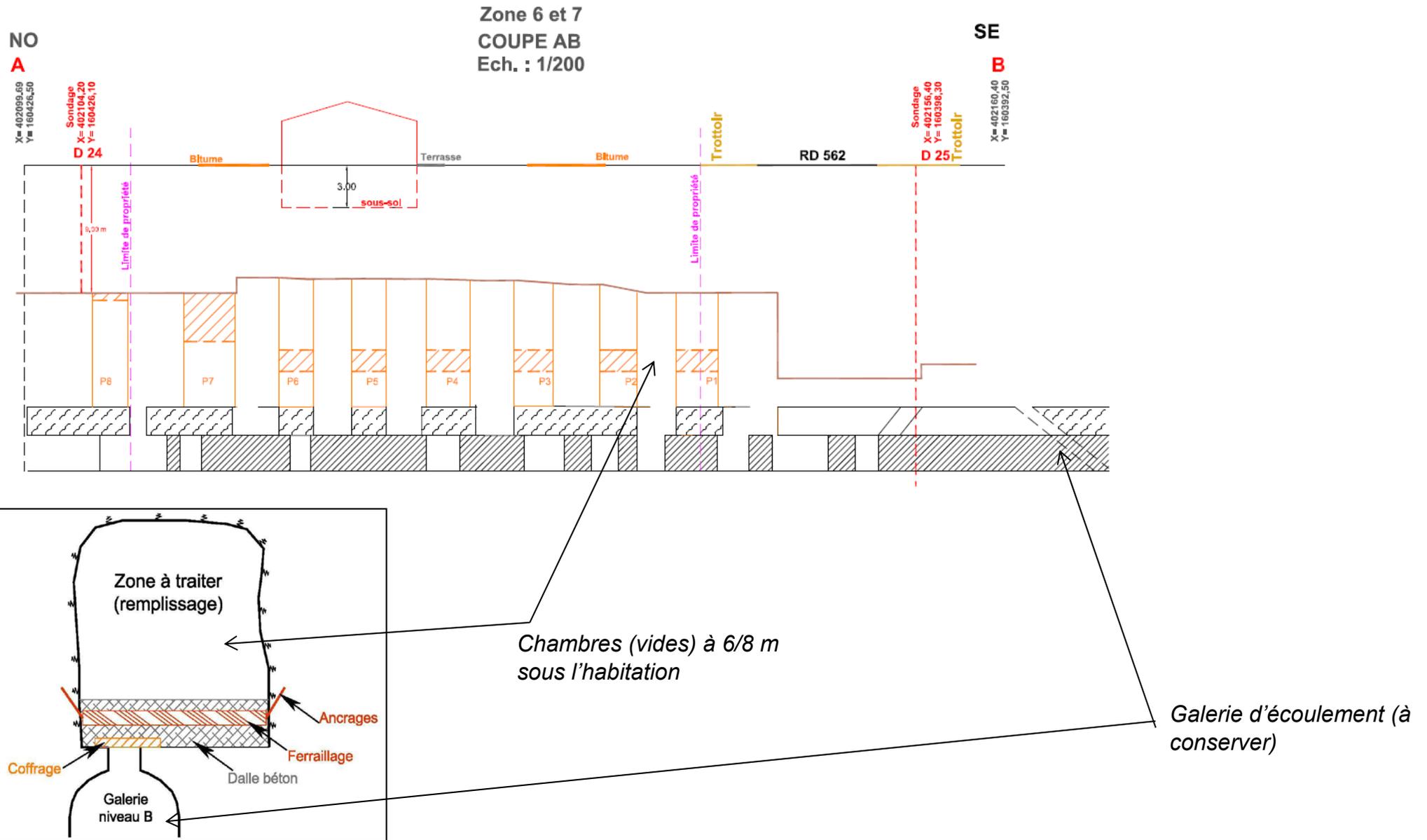


Centrale d'injection

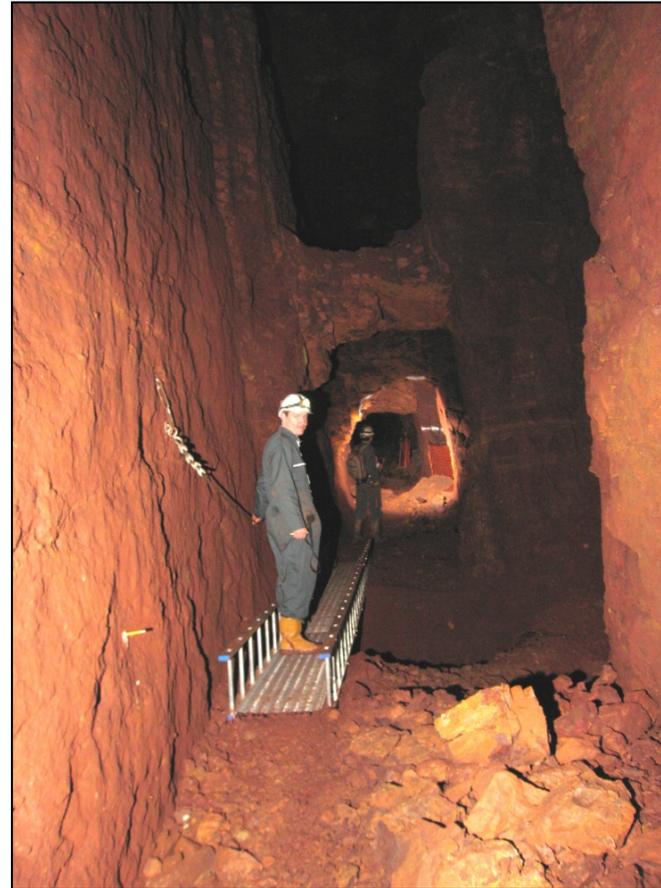
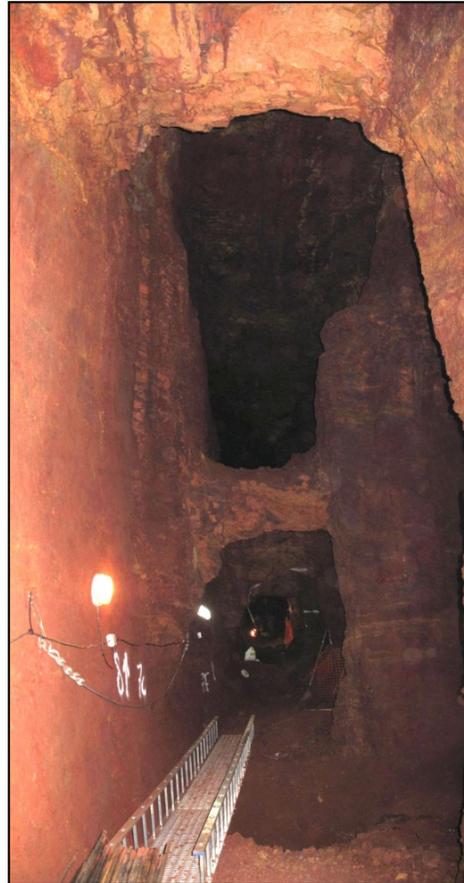
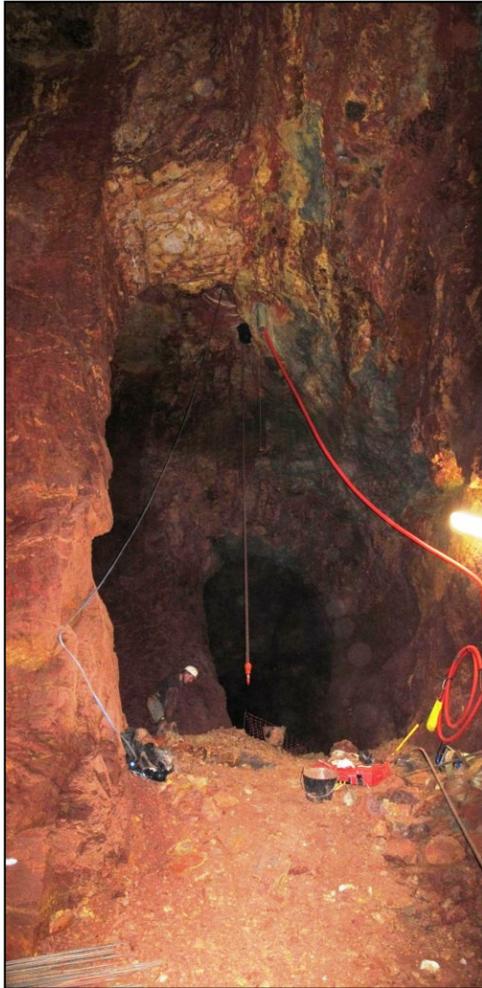


Injection dans un forage

Cas 2 : May sur Orne



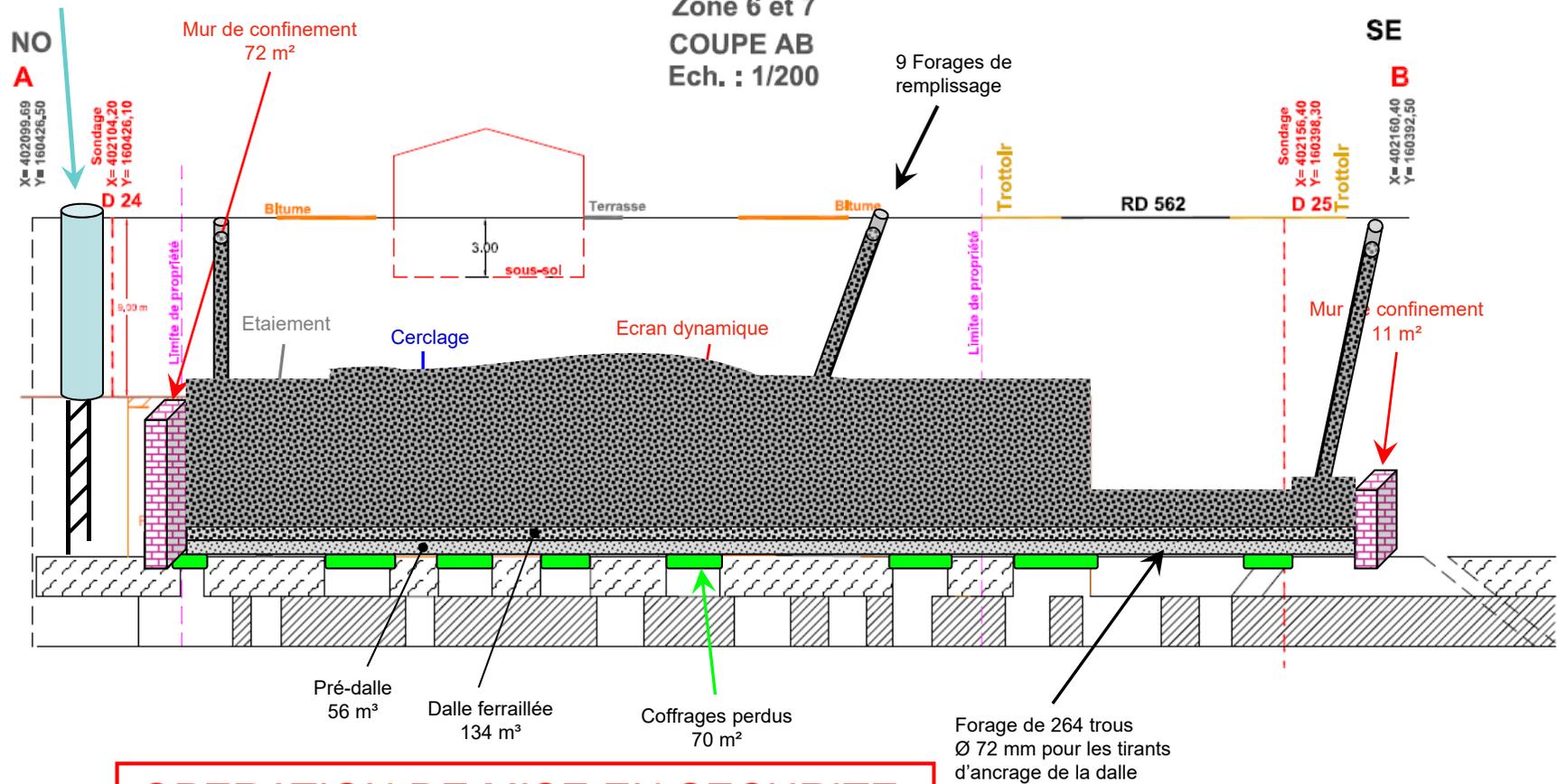
Objectif du traitement (vue en coupe perpendiculaire à la couche exploitée)



Cavités avant travaux

OPERATION DE REMPLISSAGE 1719 m³

Puits d'accès



**OPERATION DE MISE EN SECURITE
du PERSONNEL**



Puits d'accès



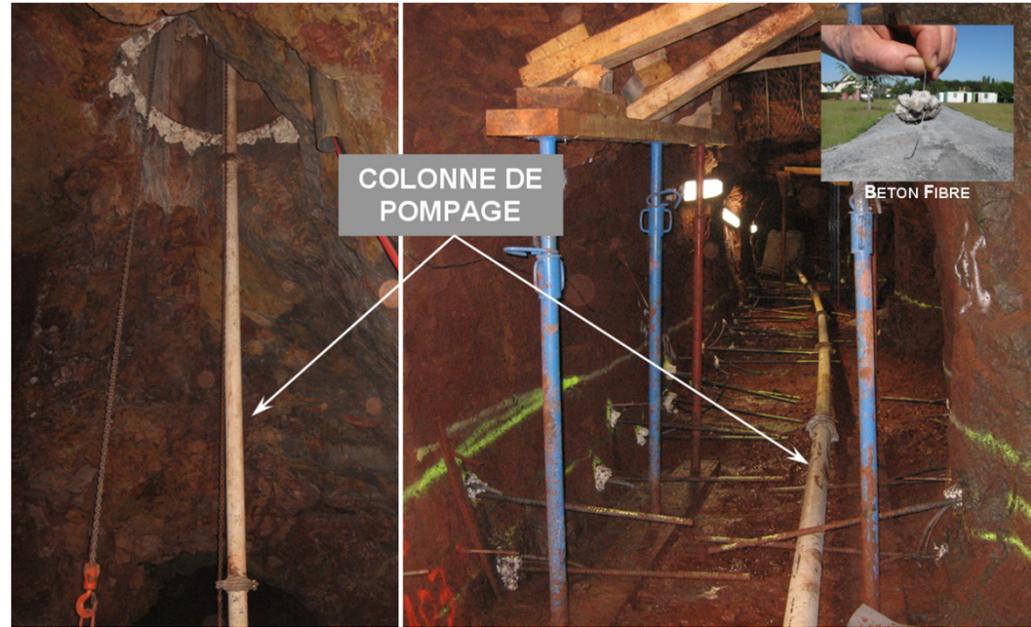
Coffrage des trémies



Mise en place des tirants

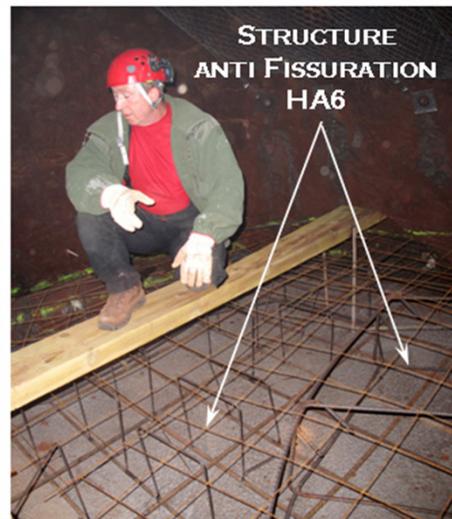


Réalisation des murs de confinement



Coulage de la prédalle





Dalle ferraillée

Férrailage de la Dalle