



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Diagnostic de risques suite à l'évolution d'instabilités en lien avec une ancienne carrière de gypse – Prat-Bonrepaux/Mercenac (09)

Rapport final

BRGM/RP-74646-FR

Version 0 du 2 juillet 2025

Expertise réalisée dans le cadre des missions d'Appui aux Administrations

M. Beltramo

Ce rapport a été vérifié le 30/06/2025 et approuvé le 02/07/2025 selon la procédure interne en vigueur au sein du BRGM, qui garantit le respect de ses engagements contractuels, de l'intégrité et de l'impartialité du contenu scientifique et technique du présent rapport, de l'éthique et de la déontologie du BRGM, ainsi que des dispositions réglementaires et législatives auquel il est soumis pour l'exercice de son activité.

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Déclaration

Ce rapport est le produit d'une expertise institutionnelle qui engage la responsabilité civile du BRGM. Il constitue un tout indissociable et complet ; une exploitation partielle ou sortie du contexte particulier de l'expertise n'engage pas la responsabilité du BRGM.

La diffusion des rapports publics est soumise aux conditions de communicabilité des documents, définie en accord avec le demandeur. Les conditions d'accès, de diffusion et de réutilisation du document sont régies par les dispositions en vigueur prévues dans le CRPA et le code de l'environnement .

Le BRGM a mis en place un dispositif de déontologie visant à développer une culture de l'intégrité et de la responsabilité dans le quotidien de tous ses salariés.

- ☒ Après examen, il ressort qu'il n'existe aucun lien d'intérêt susceptible de compromettre l'indépendance et l'impartialité du BRGM dans la réalisation de cette expertise :
- entre le BRGM et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise ;
 - entre les salariés du BRGM qui seront impliqués et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise.

- ☐ Après examen, il ressort qu'il existe un lien d'intérêt entre le BRGM et l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise (cf. déclaration de lien d'intérêt en annexe).

Cependant, le BRGM atteste, grâce à la mise en place de son SMQE et de son dispositif de déontologie, que la réalisation de la présente expertise n'est en rien influencée par le lien d'intérêt identifié.

Le BRGM confie la réalisation de cette expertise à des salariés qui n'ont, à titre individuel, aucun lien d'intérêt avec l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise, de façon à en préserver l'indépendance et l'impartialité.

- ☐ Le BRGM confie la réalisation de cette expertise à des salariés qui présentent un lien d'intérêt déclaré (cf. déclaration de lien d'intérêt jointe en annexe) avec l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise et atteste que l'existence de ce(s) lien(s) ne présente aucun risque de compromettre leur neutralité..

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots clés : Expertise, appuis aux administrations, mouvement de terrain, effondrement, cavité souterraine, gypse, carrière, Prat-Bonrepaux, Mercenac, Ariège, Occitanie

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

M. Beltramo (2025) – Diagnostic de risques suite à l'évolution d'instabilités en lien avec une ancienne carrière de gypse –Prat-Bonrepaux/Mercenac (09). Rapport final V0. BRGM/RP-74646-FR, 49 p.

© BRGM, 2025, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
M-P2-11_MVT – 13/03/2025

Synthèse

Contexte :

Date de la formulation de la demande d'expertise au BRGM : 02/04/2025

Demandeur : DREAL Occitanie

Situation du sujet : Ancienne carrière de gypse de Prat-Bonrepaux, Ariège (09), Occitanie

Nature de l'intervention du BRGM : visite de site, examen de documents

Phénomènes ayant motivé l'intervention du BRGM : Evolution des effondrements déjà connus et apparition d'une niche d'arrachement

Nature de l'expertise / question posée :

- analyser l'évolution de la stabilité des terrains et si possible une projection à court terme sur son évolution ;
- évaluer le niveau de risque pour les biens et les personnes sur la zone considérée ;
- évaluer les mesures conservatoires à mettre en place pour assurer la sécurité des personnes.

Sources d'informations :

Les documents suivants, ainsi que ses leurs annexes, ont été examinés :

- Colas B., Bouroullec I. (2023) – Diagnostic de risques suite à un effondrement de terrain sur Prat-Bonrepaux/Mercenac (09). Rapport final V0. BRGM/RP-73200-FR, 38 p.
- Cerema (2017). Note technique. Carrière de Prat-Bonrepaux (Ets Saboulard) – Stabilité
- INERIS (2017). Inspection géotechnique 2017 de la carrière de gypse de Prat-Bonrepaux (Ariège). Etablissements SABOULARD. DRS-17-170453-10255A
- Garnier C. (2012) – Diagnostic de risques suite à un effondrement de terrain survenu le 29 Août 2012 au droit d'une carrière au lieu-dit « Tucau », commune de Prat-Bonrepaux (09). Rapport BRGM/RP-61655-FR
- Etablissements Saboulard (2003). Dossier de mise en sécurité. Ce dossier contient en annexe le rapport Geobilan (2003) relatif à l'étude géologique générale du site (ref. 03.09.027)
- INERIS (2001) - Carrière de PRAT-BONREPAUX (Ariège). Etude de dangers. Ets Saboulard. DRS-01-26524/R02
- INERIS (1991) – ETABLISSEMENTS SABOULARD, Carrière souterraine de Gypse de PRAT-BONREPAUX, Stabilité et dimensionnement. GAI-JMW/JS. 71-6139/R01. 47p.
- Gleizes G. (1971) – Etude géologique et minéralogique du trias de cetchat et de Bonrepaux (Ariège). Thèse, BRGM 71SGN326MPY, 156 p.

Conclusions/Recommandations du BRGM :

La visite de site du 19 mai 2025 confirme le diagnostic établi en 2023 (BRGM/RP-73200-FR) concernant les phénomènes suivants : effondrement isolé (fontis), effondrement généralisé (rupture de plusieurs piliers simultanément) et coulée de boue.

Cette visite a également permis d'alimenter la connaissance sur l'impact de l'effondrement des galeries de la carrière sur la stabilité des versants adjacents à ses limites. En effet, un glissement de terrain affectant le versant amont à la zone centrale des anciens travaux a été identifié. La niche d'arrachement principale remonte jusqu'à une soixantaine de mètres en amont de la limite connue de l'ancienne carrière et, selon toute vraisemblance, résulte d'une perte de butée de pied provoquée par le fontis de 2012. Une surface de 0,4 ha à l'extérieur de la zone de carrière connue est en mouvement. Les phénomènes d'effondrement et de glissement s'alimentant l'un et l'autre, une accélération des phénomènes est attendue et se traduit par les aléas résiduels suivants :

- l'extension latérale de la niche d'arrachement et l'ouverture d'une niche d'arrachement à l'amont de la niche principale actuelle (régression) à court terme ;
 - l'emballement du glissement de terrain en conditions saturées qui pourrait impliquer :
 - o une propagation dont l'emprise reste à définir à l'aide d'un MNT plus précis. Le barrage du chemin et du cours d'eau ne peut pas être exclu. Dans ce cas, la formation d'une coulée de boue est redoutée ;
 - o un effondrement des vides résiduels des galeries. En fonction des galeries concernées (ennoyées ou pas), un phénomène de chasse + coulée de boue comparable à celui de 2012 peut être redouté.
- Rq : Une acquisition de MNT plus précise que le LIDAR HD (précision à 10 m localement) permettrait de se prononcer sur la probabilité d'occurrence de ces scénarios.
- la formation de nouveaux glissements de terrains dans des contextes similaires d'effondrement en pied de versant à long terme.

L'habitation du « Barbut », localisée au droit de la zone de travaux récents de la carrière, est concernée par un risque très fort vis-à-vis du scénario d'effondrement généralisé, et par un risque fort vis-à-vis des phénomènes de fontis (BRGM/RP-73200-FR).

Vis-à-vis du phénomène coulée de boue, face à un phénomène d'intensité comparable à l'évènement de 2012, les biens du hameau de Bonrepaux sont exposés à un risque faible compte tenu des épaisseurs faibles de matériaux redoutés. La possibilité d'une coulée de boue de plus forte intensité ne peut cependant pas être exclue (BRGM/RP-73200-FR).

Hormis ces deux risques, les risques associés aux phénomènes étudiés dans le présent rapport sont considérés comme négligeable pour les biens compte tenu de l'absence d'enjeux sur le site. L'activité agricole se trouve pour autant exposée à un risque d'inexploitabilité des terrains et des chemins agricoles concernés par les zones à risque. **Les personnes circulant dans la zone sont en revanche exposées.**

Sur la base du diagnostic établi, une nouvelle carte de périmètre de sécurité a été établie. Le détail des mesures de sécurisation recommandées en 2023 (rapport BRGM/RP-73200-FR) sont toujours d'actualité et sont rappelées dans le rapport. Elles relèvent des trois principes d'actions complémentaires suivants :

- restreindre au maximum l'accès aux zones exposées ;
- minimiser autant que possible les conséquences potentielles sur le Village de Bonrepaux en cas de coulée de « boue » ;
- assurer le suivi d'évolution du site dans son ensemble dans le cadre de la procédure d'abandon.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Contexte général	10
2.1. Situation géographique (extrait du rapport BRGM/RP-73200-FR)	10
2.2. Contexte géologique et morphologique (extrait du rapport BRGM/RP-73200-FR)	11
2.3. Historique (extrait en partie du rapport BRGM/RP-73200-FR)	12
2.3.1. <i>Historique de la carrière</i>	12
2.3.2. <i>Détails concernant la carrière souterraine</i>	15
2.4. Enjeux concernés par les désordres (extrait du rapport BRGM/RP-73200-FR)	20
2.5. Contexte météorologique	20
3. Constat.....	22
3.1. Zone des travaux récents - Actualisation des observations de fontis.....	22
3.2. Indices remarquables dans le MNT	27
3.3. Zone des travaux anciens - Glissement de terrain.....	27
4. Diagnostic	33
4.1. Fontis (extrait du rapport BRGM/RP-73200-FR).....	33
4.2. Effondrement généralisé (extrait du rapport BRGM/RP-73200-FR)	34
4.3. Coulée de boue, rappel du diagnostic établi en 2012 (extrait du rapport BRGM/RP-73200-FR)	36
4.4. Glissement de terrain dans la zone de travaux anciens.....	36
5. Risque résiduel.....	41
5.1. Vis-à-vis de fontis (effondrements localisés) (extrait du Rapport BRGM/RP-73200-FR) 41	
5.2. Vis-à-vis d'effondrement généralisé (extrait du Rapport BRGM/RP-73200-FR).....	42
5.3. Vis-à-vis d'une coulée type 2012 (extrait du Rapport BRGM/RP-73200-FR)	42
5.4. Vis-à-vis de glissements de terrain.....	42
6. Recommandations (actualisation à partir du rapport BRGM/RP-73200-FR)	44
7. Annexes	47

Liste des figures

figure 1 – Localisation (plan scan25) générale de la zone concernée (http://m.geoportail.fr/) ...	10
figure 2 – Emprise connue de la carrière de « Tucau – Barbut » et village de Bonrepaux (http://m.geoportail.fr/)	10
figure 3 - Carte géologique du secteur de Bonrepaux.....	11
figure 4 - Emprise de la zone exploitée selon le plan des servitudes de la commune	13
figure 5 – Localisation approximative des instabilités observées le 30 août 2012 (Rapport BRGM/RP-61655-FR)	14
figure 6 – Vue partielle de l'effondrement principal à l'origine de la coulée de boue d'Août 2012 (Rapport BRGM/RP-61655-FR).....	15

Figure 7 : Plan d'implantation du futur puits d'aérage réalisé par les Etablissements BOUE en décembre 1989.....	16
figure 8 - Plans consolidés au sein d'un SIG de synthèse (Rapport BRGM/RP-73200-FR).....	17
figure 9 – Synthèse schématique non exhaustive des informations collectées lors des expertises BRGM de 2012 (BRGM/RP-61655-FR) 2023 (BRGM/RP-73200-FR) et 2025 (CTA : Chute de toit ancienne / CTR : chute de toit récente / DEB : débouillage d'argile / FONT : fontis / GLISS : glissement / AFFAIS : affaissement)	19
Figure 10 : Détail des zones à enjeux et du réseau hydrographique	20
figure 11 – Pluviométrie quotidienne à Prat-Bonrepaux entre juin 2023 et mai 2025 (données SAFRAN, Météo-France)	21
figure 12 – Comparaison entre les précipitations mensuelles sur les deux dernières années et les normales de saison (données SAFRAN, Météo-France).....	21
figure 13 - Mise à jour de la cartographie des mouvements de terrain localisés par rapport à l'emprise des travaux de carrière sur l'ombrage issu du LIDAR HD (FONT : fontis / AFFAIS : affaissement)	22
figure 14 – Comparaison par photo des fontis dans la zone de travaux récents entre 2023 et 2025	26
figure 15 – Affaisements constatés par le CEREMA en 2017	26
figure 16 – Indices de dolines pointés sur l'ombrage du levé LIDAR HD de l'IGN (2023)	27
figure 17 – Observations 2025 sur parcellaire et périmètre de sécurité en vigueur au droit de la zone de glissement de terrain	29
figure 18 – Photos 2025 localisées des mouvements de terrain repérés en amont des travaux de l'ancienne carrière.....	31
figure 19 - Schéma du développement d'une cloche de fontis (INERIS, guide PPR cavités souterraines).....	33
figure 20 - Schéma du développement d'un effondrement généralisé (INERIS, guide PPR cavités souterraines).....	35
Figure 21 : Analyse sommaire du risque d'effondrement généralisé (travaux récents).....	35
figure 22 – Coupes schématiques du glissement de terrain et de la carrière le long des profils 1 et 2 en l'état actuel des connaissances.....	39
Figure 23 : Exemple de grille d'évaluation de l'aléa (guide PPR cavités souterraines)	41
figure 24 – Mise à jour 2025 du périmètre de sécurité avec prise en compte de la nouvelle niche d'arrachement et intégration des zones de régression et de propagation redoutées	44

Liste des annexes

Annexe 1	Fiche navette de demande d'appui	47
----------	--	----

1. Introduction

La DREAL Occitanie a sollicité le BRGM le 2 avril 2025 pour actualiser un avis technique relatif au risque engendré par la carrière souterraine de gypse aux lieux-dits Tucan et Barbut, sur le territoire des communes de Prat-Bonrepaux/Mercenac (Ariège - 09). La présente expertise est motivée par la notification d'une riveraine de l'évolution des désordres déjà connus (cf. références données ci-dessous) ainsi que l'apparition de nouveaux désordres. La mission du BRGM consiste à traiter les points suivants (cf. la demande d'intervention fournie à l'annexe 1) :

- vérifier la nature des indices supposés d'instabilité récemment exprimés par la DREAL ;
- déterminer l'origine des désordres éventuels et évaluer les risques résiduels ;
- émettre des recommandations en matière de sécurisation pour les enjeux potentiellement concernés.

Ce diagnostic a été établi par un intervenant du BRGM direction régionale du BRGM Occitanie. Il s'appuie sur des observations visuelles effectuées lors d'une visite du site réalisée le 19 mai 2025, en présence notamment de représentants de la commune de Prat-Bonrepaux et de la DREAL Occitanie (UT Ariège) ainsi qu'un propriétaire concerné. Le diagnostic s'appuie sur la visite de terrain et sur une compilation des informations d'archive disponibles notamment les archives de la Subdivision de l'Ariège de la DREAL Occitanie et du BRGM Occitanie. L'expertise s'est également appuyée sur la consultation des documents suivants :

- Colas B., Bouroullec I. (2023) – Diagnostic de risques suite à un effondrement de terrain sur Prat-Bonrepaux/Mercenac (09). Rapport final V0. BRGM/RP-73200-FR, 38 p.
- Cerema (2017). Note technique. Carrière de Prat-Bonrepaux (Ets Saboulard) – Stabilité
- INERIS (2017). Inspection géotechnique 2017 de la carrière de gypse de Prat-Bonrepaux (Ariège). Etablissements SABOULARD. DRS-17-170453-10255A
- Garnier C. (2012) – Diagnostic de risques suite à un effondrement de terrain survenu le 29 Août 2012 au droit d'une carrière au lieu-dit « Tucan », commune de Prat-Bonrepaux (09). Rapport BRGM/RP-61655-FR
- Etablissements Saboulard (2003). Dossier de mise en sécurité. Ce dossier contient en annexe le rapport Geobilan (2003) relatif à l'étude géologique générale du site (ref. 03.09.027)
- INERIS (2001) - Carrière de PRAT-BONREPAUX (Ariège). Etude de dangers. Ets Saboulard. DRS-01-26524/R02
- INERIS (1991) – ETABLISSEMENTS SABOULARD, Carrière souterraine de Gypse de PRAT-BONREPAUX, Stabilité et dimensionnement. GAI-JMW/JS. 71-6139/R01. 47p.
- Gleizes G. (1971) – Etude géologique et minéralogique du trias de cetchat et de Bonrepaux (Ariège). Thèse, BRGM 71SGN326MPY, 156 p.

L'expertise s'inscrit dans le cadre des missions d'Appui aux Administrations menées par le BRGM au titre de l'année 2025.

Ce rapport d'expertise ne constitue pas une étude géotechnique de détail mais pointe les éléments pouvant porter atteinte à la sécurité des personnes en particulier et des biens au droit du site expertisé. Il vise également à apporter les premières recommandations en matière de sécurisation, sur la base du diagnostic établi, recommandations qui ont pour partie au moins vocation à être complétées/précisées dans le cadre d'études complémentaires spécifiques.

2. Contexte général

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-73200-FR)

Le glissement de terrain évolutif se produit au droit de l'ancienne carrière de gypse aux lieux-dits Tucau – Barbut (répertoriée dans la Banque de Données du Sous-Sol sous le numéro 10558X0022), se trouvant à environ 400 m au Nord du village de Bonrepaux, lui-même situé à 1,5 km au Nord-Est du chef-lieu de Prat-Bonrepaux (figure 1).

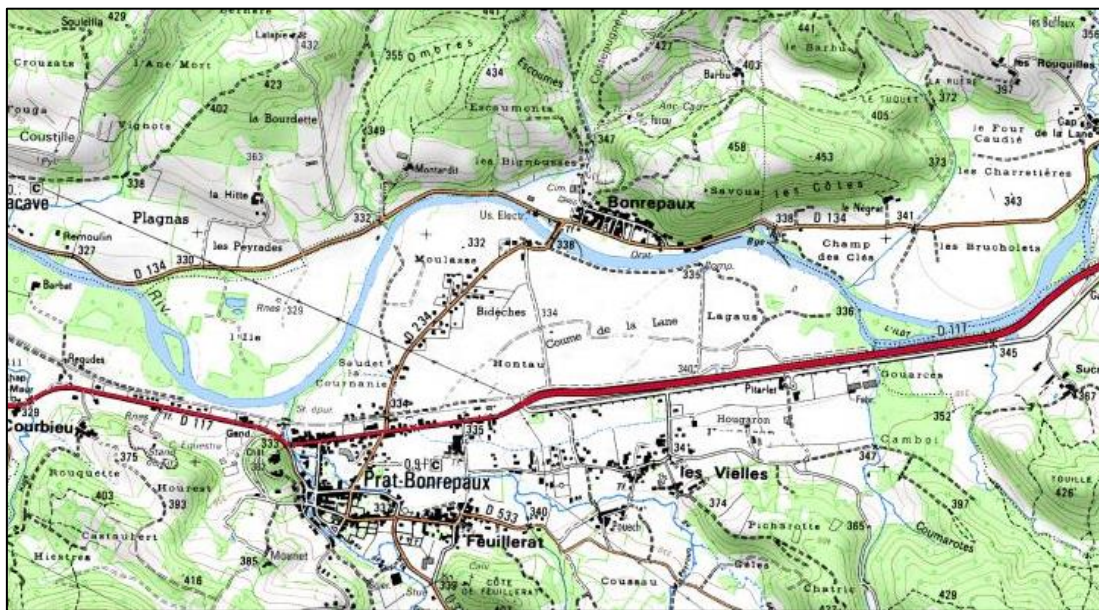


figure 1 – Localisation (plan scan25) générale de la zone concernée (<http://m.geoportail.fr/>)

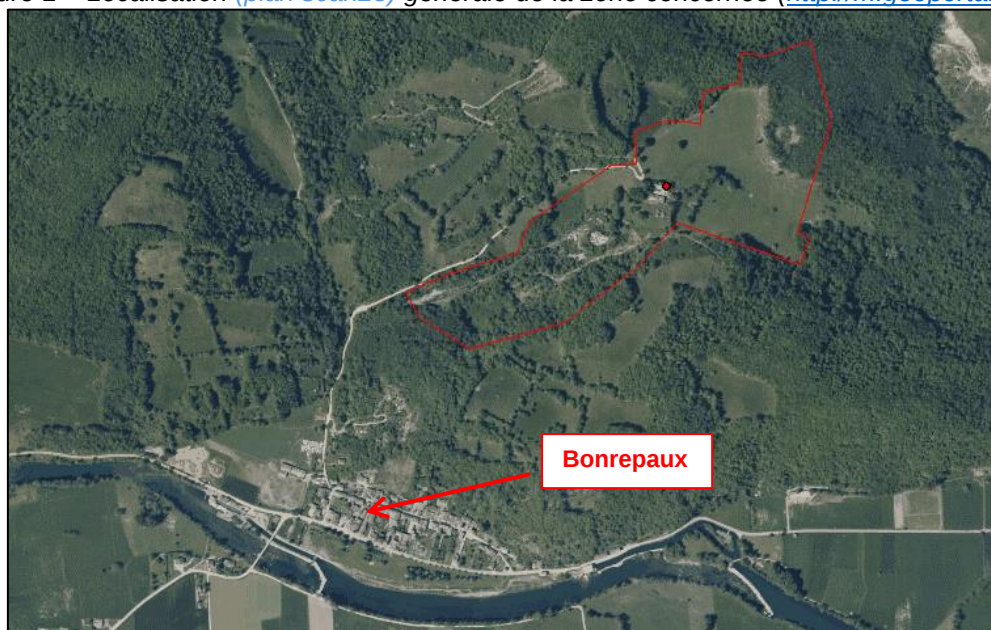


figure 2 – Emprise connue de la carrière de « Tucau – Barbut » et village de Bonrepaux (<http://m.geoportail.fr/>)

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-73200-FR)

Les communes de Prat-Bonrepaux / Mercenac se situent au Sud du chaînon des Petites Pyrénées et de l'accident frontal nord-pyrénéen, dans la zone nord-pyrénéenne composée ici de flyschs schisto-gréseux albo-cénomaniens (Crétacé). Ces derniers, qui constituent un vaste synclinal se développant selon une bande large de 5 km environ orientée sensiblement Est / Ouest, reposent au Nord (secteur de Betchat à Bagert) sur le socle primaire apparaissant à la faveur du chevauchement frontal pyrénéen.

Une carte géologique à échelle 1/10 000ème a été produite en 1971 (rapport BRGM/71SGN326MPY, figure 3). Deux coupes (1) et (2) sont produites. La figure 4 représente la coupe (2) qui intercepte le gisement de gypse exploité.

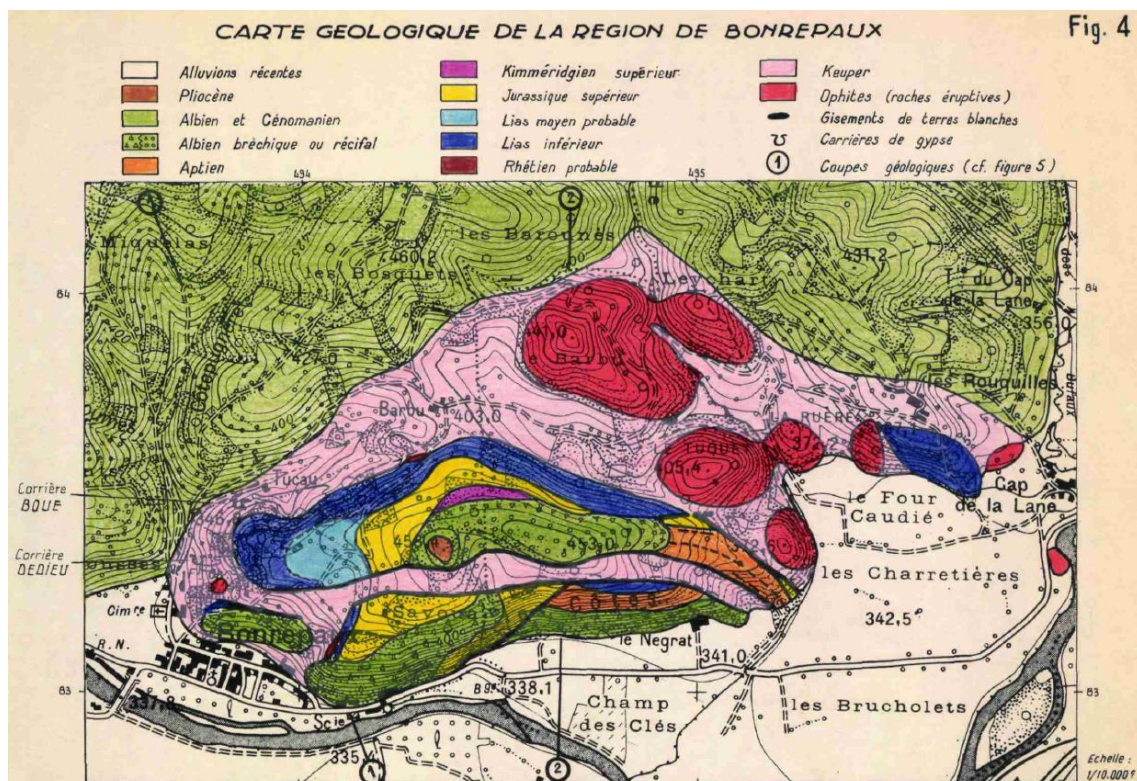


figure 3 - Carte géologique du secteur de Bonrepaux
(source : rapport BRGM/71SGN326MPY)

Au Sud, au niveau de Bonrepaux, le contact se caractérise par la remontée subverticale d'un étroit accident triasique, correspondant au prolongement ouest de l'axe du pli-faille de Montégut. Ce lambeau triasique est composé d'argiles gypseuses du Trias, affleurantes, et de deux bandes de terrains datant du Jurassique et du Crétacé (formant l'ossature du versant abrupte dit « les Côtes » à l'Est de Bonrepaux, surplombant la RD134) et de dômes d'ophites (cf. figure 3). Le pendage des formations jurassiques est caractérisé à l'Ouest de très faible (30° S.E.), puis se redressant au centre. Cet accident serait la conséquence d'une tectonique intense qui a été à l'origine d'une remontée en surface des formations et d'un redressement des flyschs, au Nord de l'affleurement.

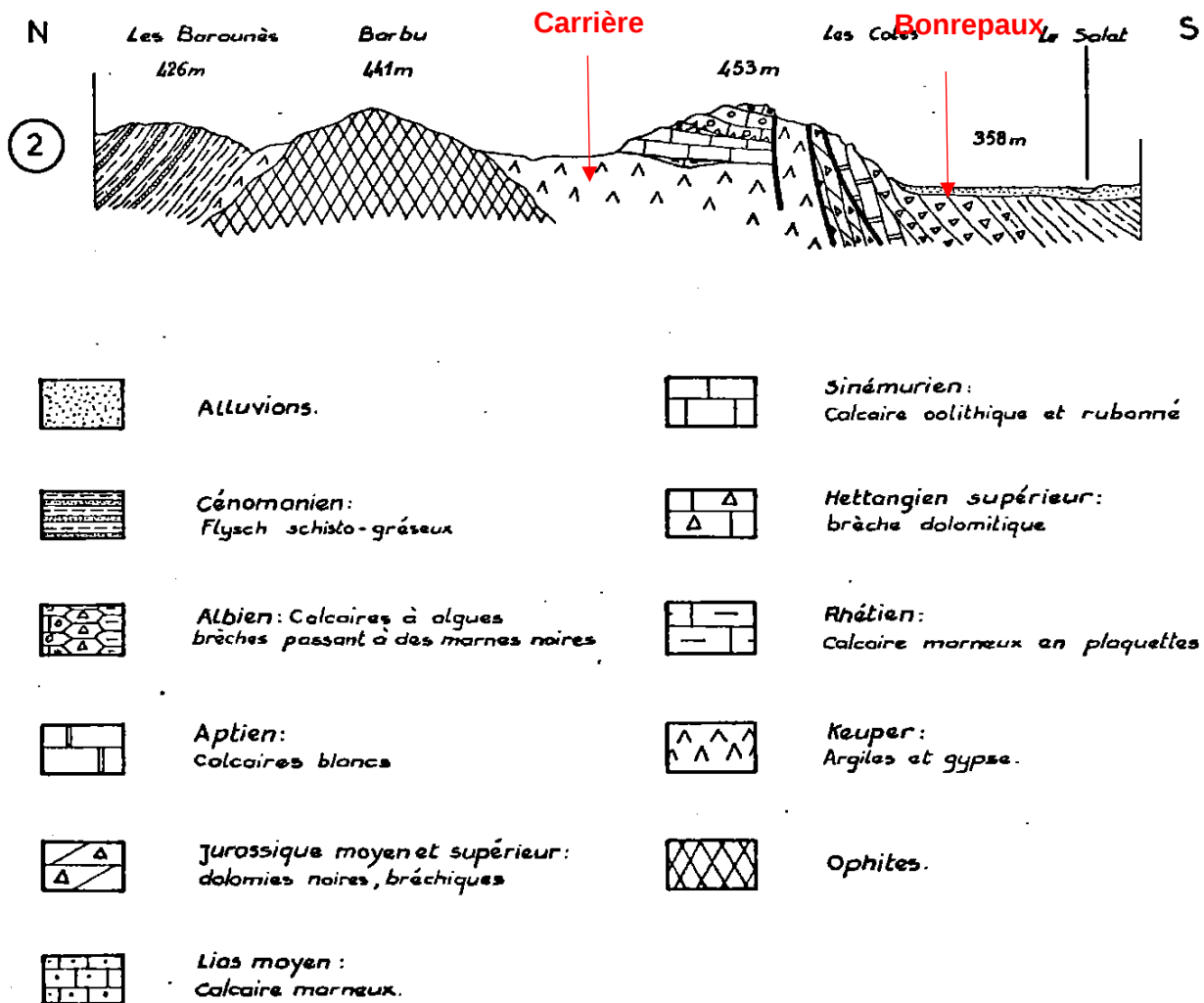


figure 1 – Coupe géologique du secteur de Bonrepaux (source : rapport BRGM/71SGN326MPY)

2.3. HISTORIQUE (EXTRAIT EN PARTIE DU RAPPORT BRGM/RP-73200-FR)

2.3.1. Historique de la carrière

Selon les archives consultées de la DREAL, le gypse triasique de Bonrepaux serait exploité depuis plus de deux siècles (pour une utilisation initiale comme pierre à plâtre), avec notamment une première zone d'extraction située en bordure nord du village de Bonrepaux, sensiblement à hauteur du cimetière.

L'exploitation au Tucau puis au Barbut aurait commencé avant 1910 avec différents exploitants (Etablissements Boué depuis 1950, Etablissements Saboulard depuis 1990). Elle a cessé entre 2000 et 2003 (Arrêté préfectoral de suspension d'activité le 22 décembre 2000). L'exploitation de la carrière (cf. figure 4) qui se développe dans un secteur vallonné, occupé par des zones boisées et des pâturages, aurait :

- dans un premier temps été menée alternativement par l'intermédiaire de puits verticaux de forme conique (dits « puits bouteille », profondeur estimée à 20 m pour l'un d'entre eux, non

décrite pour les autres), s'évasant vers le bas et permettant ainsi une remontée à dos d'homme du gypse par le biais d'escaliers taillés en hélice dans la paroi, et par ailleurs par le biais de fronts de taille à ciel ouvert. Les localisations de ces puits ne sont pour la plupart pas connues précisément ;

- dans un second temps, été réalisée en souterrain (à partir semble-t-il de 1910), et s'est poursuivie jusqu'en 2003 (déclaration de fin de travaux datée du 17 février 2003 et procès-verbal de recollement daté du 4 janvier 2006). La figure 4 présente l'emprise des zones exploitées en souterrain selon le plan des servitudes de la commune.

En novembre 2000, la carrière souterraine fait l'objet d'une première inspection géotechnique par l'INERIS afin d'évaluer les possibilités de reprise en sous-pied de certaines galeries.

A la suite de l'arrêt de l'exploitation (2003), les galeries s'effondraient progressivement.

En 2012, un effondrement d'une cinquantaine de mètres de diamètre survient dans les anciens travaux et est responsable d'une coulée de boue. L'évènement a motivé l'intervention du BRGM (localisation en figure 5 et photo en figure 6) (Rapport BRGM/RP-61655-FR).

En 2015, la DREAL Occitanie établit un arrêté relatif à la mise en sécurité du site demandant, entre autres, une étude géotechnique actualisée de la carrière souterraine. Cette étude est effectuée par l'INERIS en 2017 (DRS-17-170453-10255A).

En 2017, le CEREMA rédige une note technique portant sur la stabilité du site en réponse à une demande de la préfecture.

En 2023, le BRGM réalise un diagnostic de risques suite à l'apparition de fontis au droit de la zone de travaux récents (Rapport BRGM/RP-73200-FR).

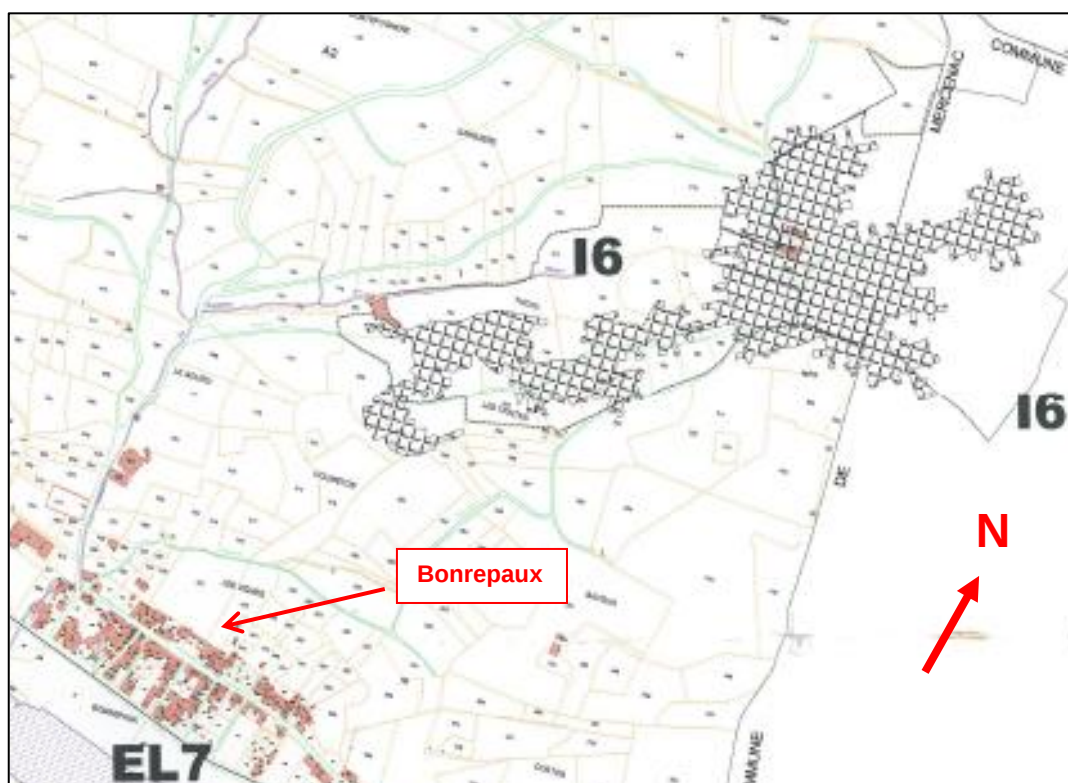
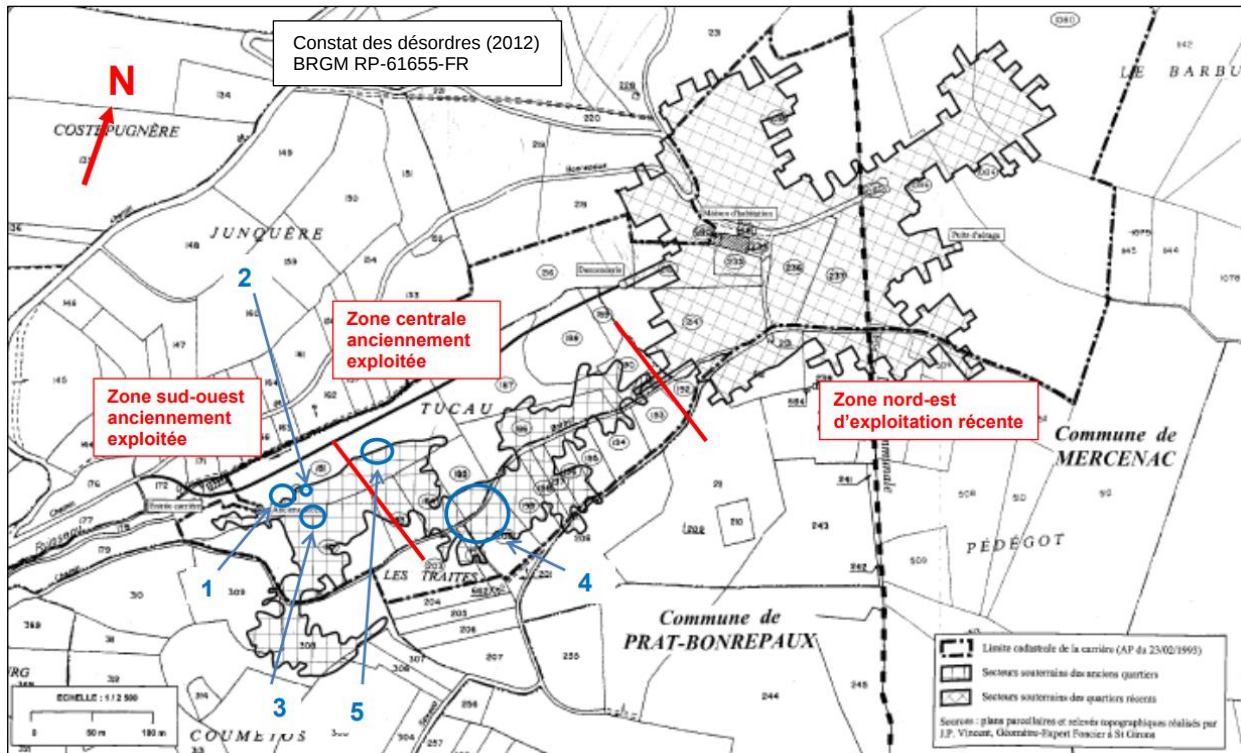


figure 4 - Emprise de la zone exploitée selon le plan des servitudes de la commune



1 – Point de sortie de la « poche d'eau » responsable de la coulée de boue de 2012. 2 – Fontis de 1m de diamètre et 2,5m de profondeur. 3 – Fontis de 6-7 m de diamètre et 4m de profondeur. 4 – Fontis de 50 m de diamètre à l'origine de la coulée de boue de 2012. 5 – Fontis d'une dizaine de mètres de diamètres. Second point de sortie probable de l'eau responsable de la coulée de boue de 2012.

figure 5 – Localisation approximative des instabilités observées le 30 août 2012 (Rapport BRGM/RP-61655-FR)



figure 6 – Vue partielle de l'effondrement principal à l'origine de la coulée de boue d'Août 2012 (Rapport BRGM/RP-61655-FR)

2.3.2. Détails concernant la carrière souterraine

Sur la base des données d'archives consultées (et plus particulièrement le dossier de demande d'autorisation de réouverture d'exploitation produit en 2001 et le dossier de mise en sécurité de 2003), la carrière (exploitée par abattage à l'explosif, selon la méthode dite des chambres et piliers abandonnés) pourrait être scindée en trois parties distinctes (cf. figure 5) présentant les caractéristiques suivantes :

- dates supposées avant 1910 -1950 : Au Sud-Ouest, galeries anciennement creusées sur plusieurs niveaux plus ou moins superposés, avec des piliers de fort élancement disposés de manière désordonnée. Une partie des galeries furent déclarées inaccessibles dès 1991 par l'INERIS du fait du constat de ruptures de toit encombrant les galeries (dates précises des ruptures de toit non connues) tandis que le réseau serait en partie ennoyé ;
- dates supposées 1950-1968 : En partie centrale, une zone ancienne aujourd'hui effondrée et qui aurait été partiellement remblayée en surface. Un passage en sous-niveau aurait été réalisé sous ces galeries anciennes pour permettre l'accès depuis l'entrée sud-ouest à la zone d'exploitation plus récente située au Nord-Est (cf. ci-après). Ce passage en sous-niveau aurait été exploité avec la création des piliers massifs de faible élancement. Il serait aujourd'hui noyé ;
- dates supposées 1968 à 2003 : Au nord-est, zone d'exploitation récente. Cette partie, située dans le prolongement de la zone centrale effondrée, est semble-t-il caractérisée

par un seul niveau de galeries maillées présentant une hauteur de voûte de 6 m, une largeur de 8 m et séparées les unes des autres d'une distance de 12 m (largeur des piliers). Certaines galeries auraient fait l'objet en fin d'exploitation d'une reprise en sous-pied (hauteur de voûte atteignant au final jusqu'à 10 m). Sur cette partie de l'exploitation, la hauteur de recouvrement varierait entre 25 m et 45 m environ et le taux de défrusement serait de l'ordre de 65%.

La production a varié de 1956 à 1991 entre 6900t à 33800t/an de gypse.

Un plan en coupe retrouvé montre la hauteur de recouvrement à 25 m dans la zone nord-est (plan d'implantation du futur puits d'aérage réalisé par les Etablissements BOUE en décembre 1989 (figure ci-dessous).

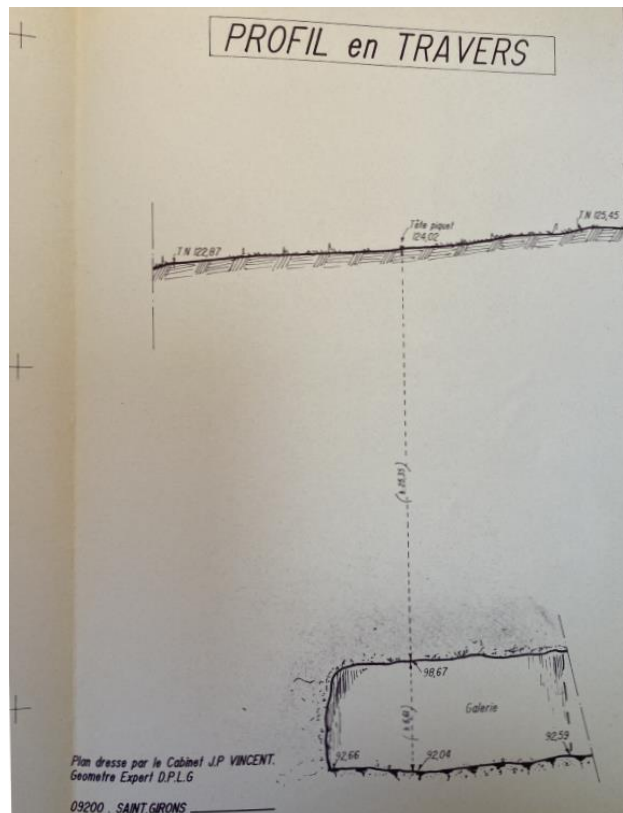


Figure 7 : Plan d'implantation du futur puits d'aérage réalisé par les Etablissements BOUE en décembre 1989

Les rapports de l'inspection des carrières notaient aussi des désordres comme :

- en novembre 1983 : éboulement à l'entrée, dégâts en surface suite à effondrement de la carrière (2 niveaux indiqués) en février 1982 ;
- d'après le rapport INERIS GAI-JMW/JS 71-6139/R01 du 14/02/1991, des désordres apparaissent en 1991 à l'aplomb de la zone centrale (dépressions à mi-pente déclenchant des glissements de versant et des dolines selon un axe N90-100E) ;
- en juin 2005 : effondrement de l'entrée de la galerie d'exploitation, affaissement au-dessus des travaux de fermeture de la galerie d'exploitation.

D'après le dossier de mise en sécurité de 2003, sa surface totale est de plus de 16 ha. Les parcelles concernées sont :

- n°181 à 200, 202, 203, 214 à 217, 234 à 237, 680, 681, 684 et 686, section A2 du plan cadastral de la commune de Prat-Bonrepaux et
- n°1080, 1084 à 1086, section C3 du plan cadastral de la commune de Mercenac.

La consolidation des données d'archives (plans, relevés de désordres, expertise) a permis de dresser un SIG des données disponibles (figure 8). Ce système d'informations a été constitué à l'occasion de l'expertise menée par le BRGM en 2023 et enrichi à l'occasion de la présente expertise (figure 9) (BRGM/RP-73200-FR). Cette synthèse ne se veut pas exhaustive et devra être détaillée autant que nécessaire en cas d'approfondissement de l'étude.

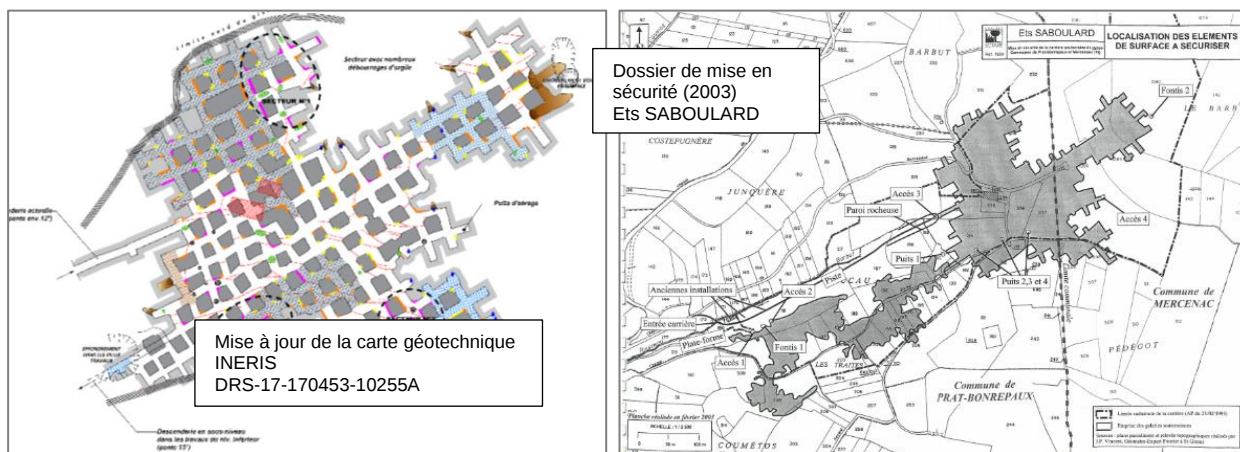


figure 8 - Plans consolidés au sein d'un SIG de synthèse (Rapport BRGM/RP-73200-FR)

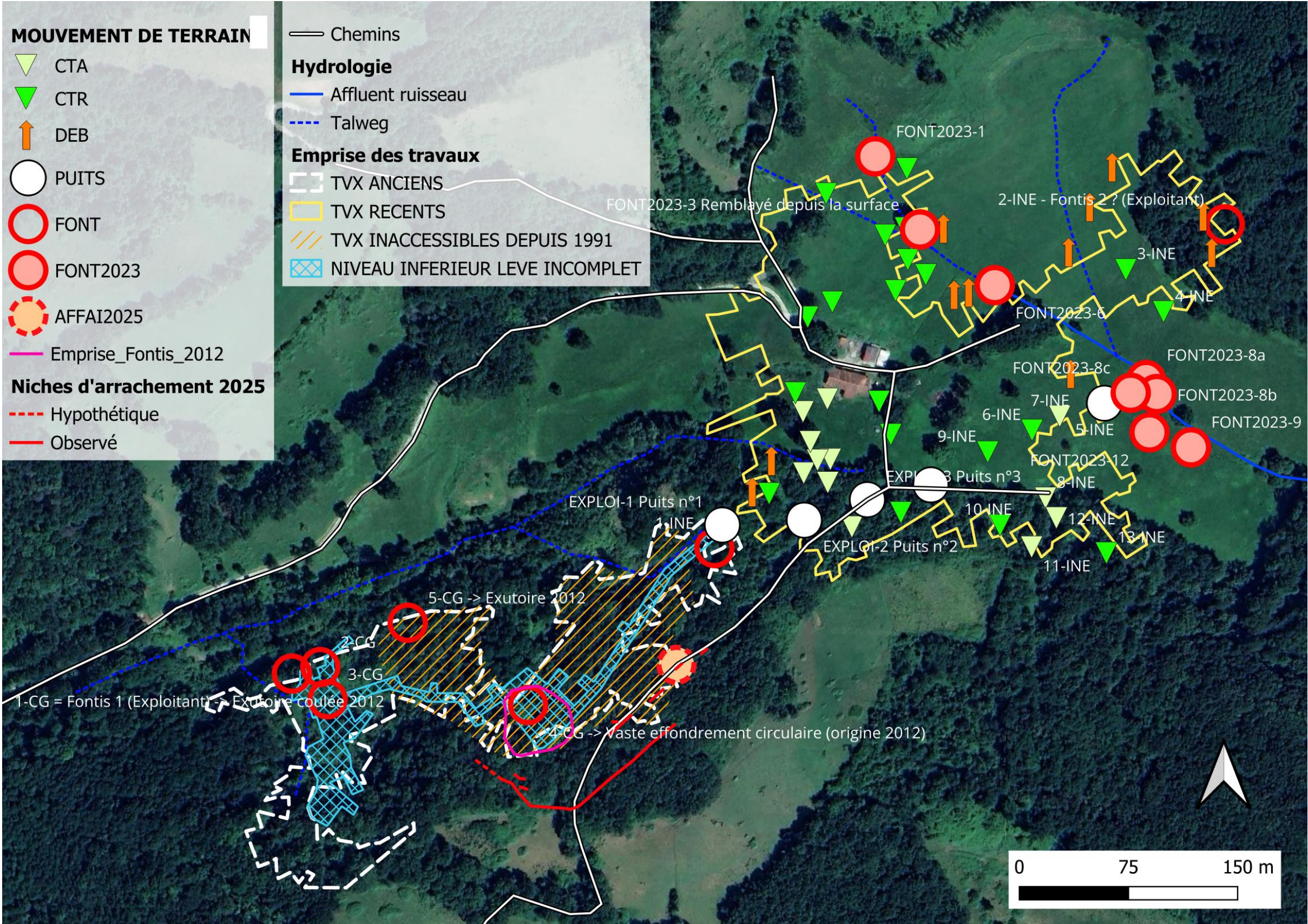


figure 9 – Synthèse schématique non exhaustive des informations collectées lors des expertises BRGM de 2012 (BRGM/RP-61655-FR) 2023 (BRGM/RP-73200-FR) et 2025 (CTA : Chute de toit ancienne / CTR : chute de toit récente / DEB : débouillage d'argile / FONT : fontis / GLISS : glissement / AFFAIS : affaissement)

2.4. ENJEUX CONCERNES PAR LES DESORDRES (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-73200-FR)

On distingue globalement au voisinage des travaux souterrains :

- le village de Bonrepaux et en particulier les habitations le long du ruisseau qui descend de la carrière ;
- la route (piste) d'accès à la ferme du Barbut ;
- les chemins et sentiers de randonnée ou d'accès aux terrains agricoles ;
- les terrains agricoles et les zones forestières.

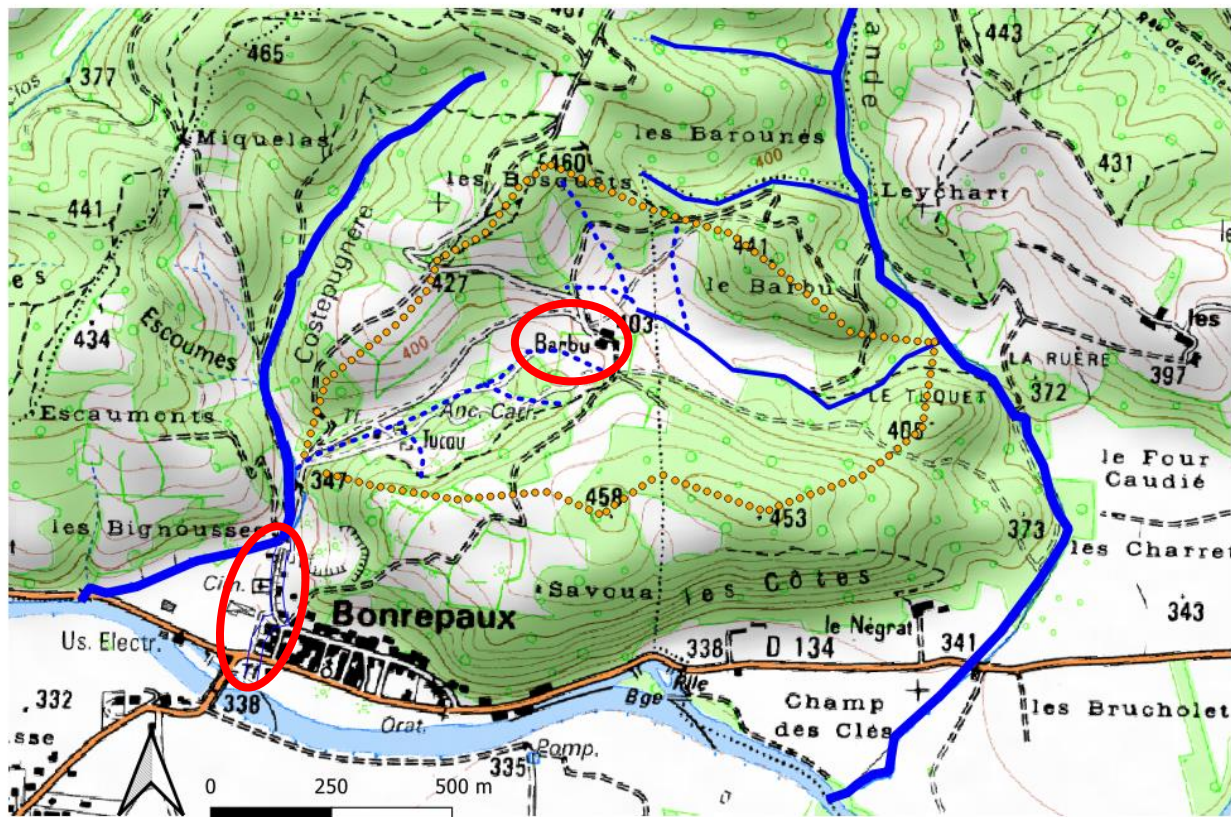


Figure 10 : Détail des zones à enjeux et du réseau hydrographique

2.5. CONTEXTE METEOROLOGIQUE

La station Météo-France la plus proche se situant à 7,1 km au Sud-Est sur la commune de Lorp, il est proposé d'étudier les données pluviométriques interpolées de SAFRAN¹, un système d'analyse à mésoéchelle de variables atmosphériques de proche surface produit par Météo-France. SAFRAN utilise des observations de surface, combinées à des données d'analyse de modèles météorologiques.

¹ [Service de téléchargement des données météo SAFRAN - API OGC EDR](#)

La comparaison entre les cumuls mensuels et les normales de saisons met en évidence une fin d'année 2024 excédentaire et un début d'année 2025 plutôt déficitaire (figure 12). On note tout de même les épisodes pluvieux remarquables suivants (figure 11) :

- 15/04/2025 : 21,7 mm
- 26/04/2025 : 19 mm
- **04/05/2025 : 30,7 mm**
- 19/05/2025 (jour de visite) : 26.7 mm

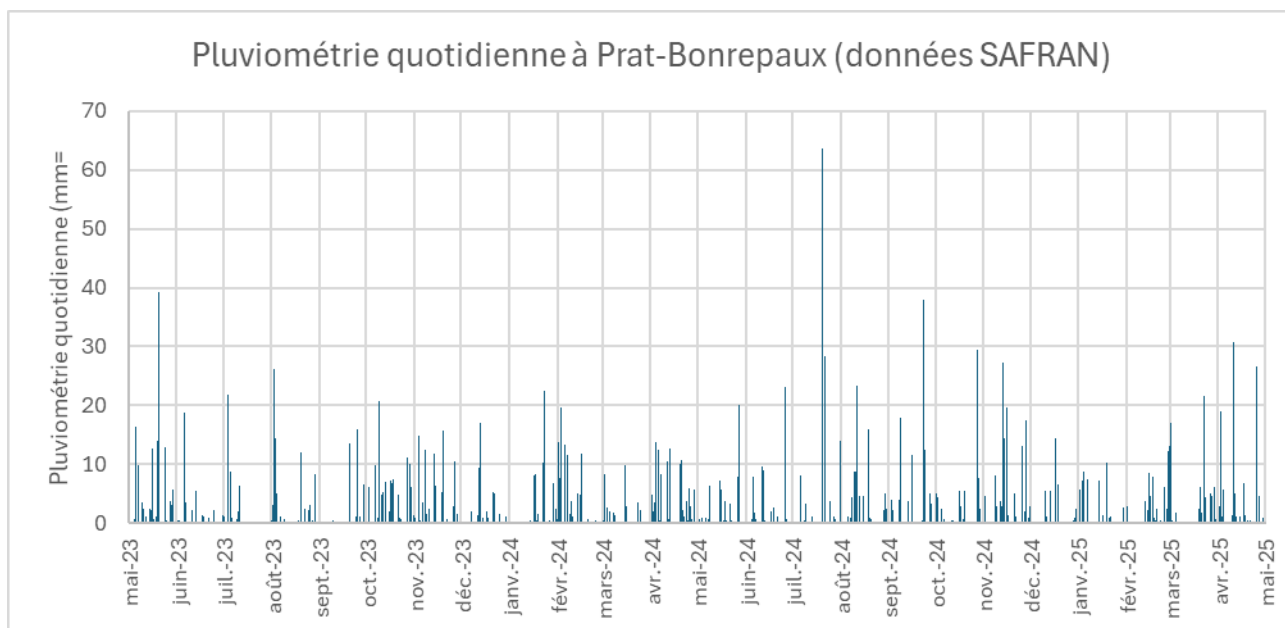


figure 11 – Pluviométrie quotidienne à Prat-Bonrepaux entre juin 2023 et mai 2025 (données SAFRAN, Météo-France)

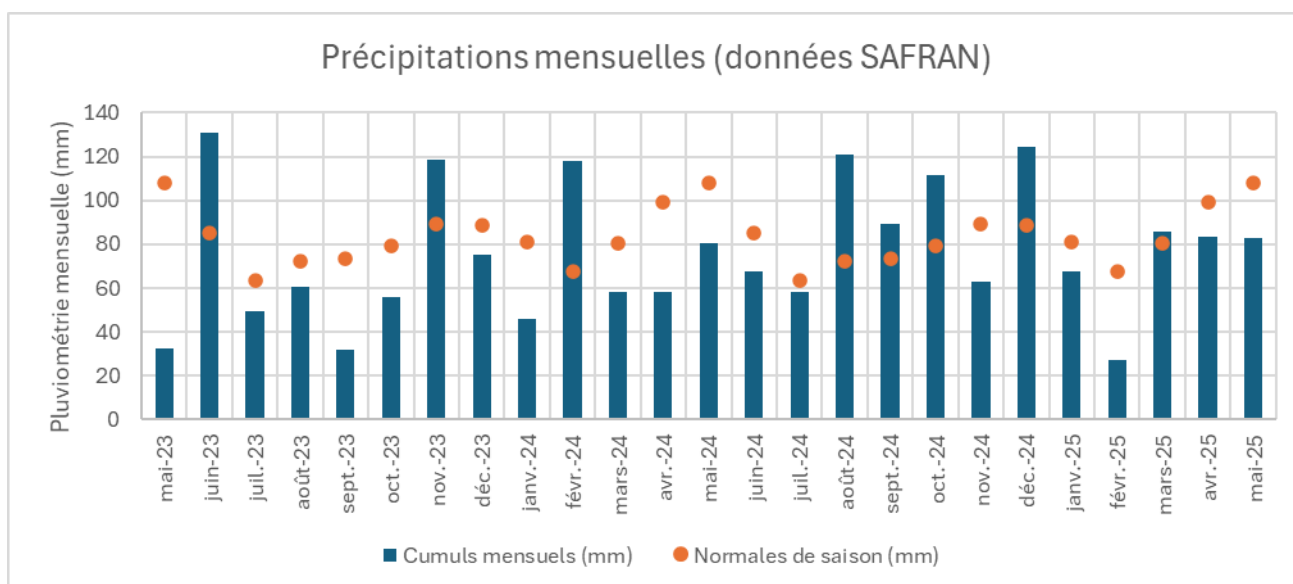


figure 12 – Comparaison entre les précipitations mensuelles sur les deux dernières années et les normales de saison (données SAFRAN, Météo-France)

3. Constat

3.1. ZONE DES TRAVAUX RECENTS - ACTUALISATION DES OBSERVATIONS DE FONTIS

En 2023, la DREAL avait fait réaliser un levé drone de la zone de travaux récents. 8 fontis avaient été pointés et visités par le BRGM (figure 13). 6 d'entre-eux ont été de nouveau visités lors de la visite du 19 mai 2025 (comparaison photo et dimensions en figure 14). Les fontis 3, 8a et 9 présentent des évolutions significatives au cours des deux dernières années. D'après le témoignage du propriétaire, les fontis 3 et 8c ont évolués suite aux pluies de début mai 2025 (30,7 mm le 04 mai 2025 d'après l'interpolation SAFRAN, cf. section 2.4).

Il est à noter que le propriétaire de la ferme du Barbut a témoigné de l'absence d'ouverture/évolution de fissure depuis la dernière visite du BRGM en 2023.

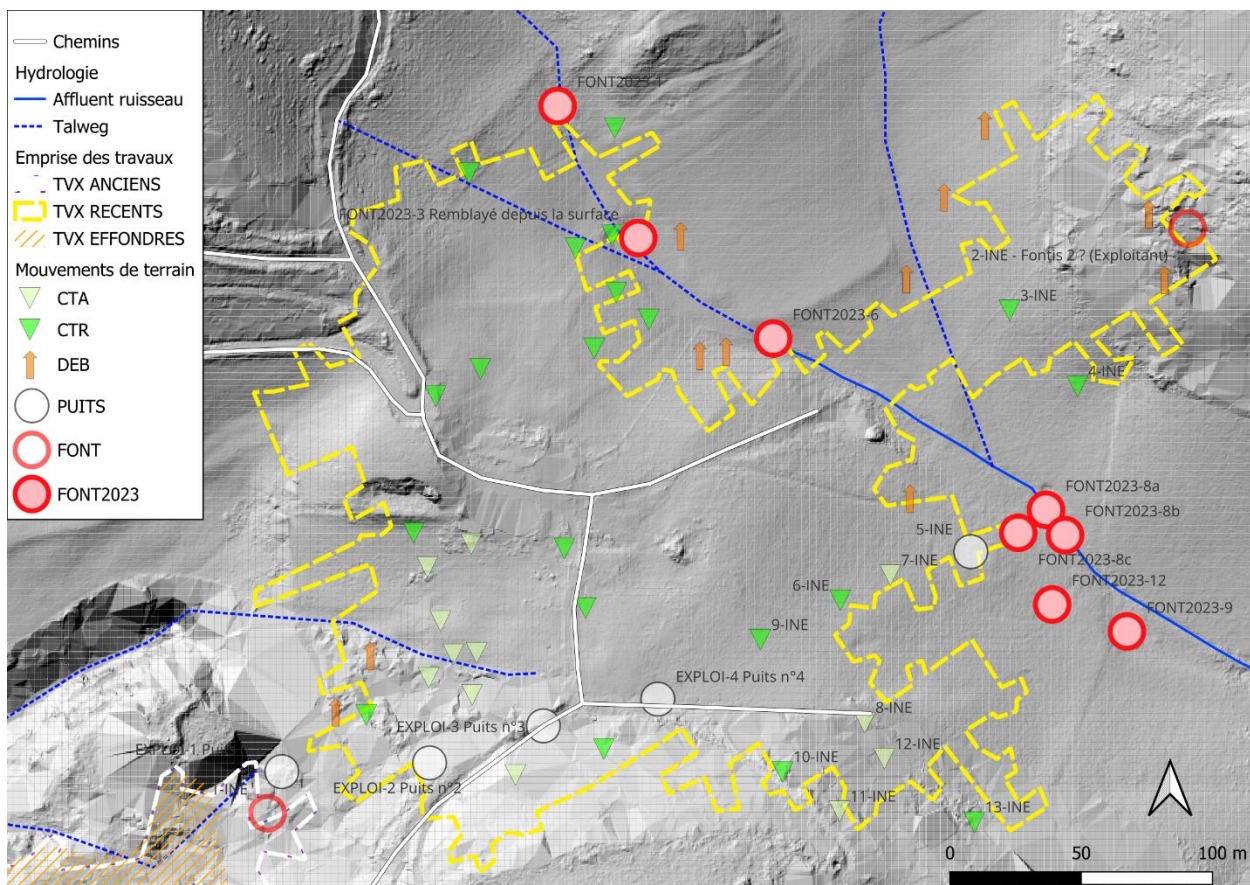


figure 13 - Mise à jour de la cartographie des mouvements de terrain localisés par rapport à l'emprise des travaux de carrière sur l'ombrage issu du LIDAR HD (FONT : fontis / AFFAI : affaissement)

	Octobre 2023	Mai 2025	Commentaires 2025
FONT2023-1	 D = 7 m ; P = 0,8 m	 D = 7 m ; P = 0,8 m	Zone humide avec sol saturé en eau et roseaux. Pas d'évolution remarquable.
FONT2023-3	 D = 5 ; P = 0,5 m	 D = 6,5 ; P = 2 m + remblaiement partiel	Buse d'évacuation d'eau au pied du chêne. Evolution lors des pluies de début mai (témoignage propriétaire) Le propriétaire prévoit de remblayer totalement ce fontis qui l'est déjà partiellement.

FONT2023-6	 D = 5 m ; P = 1 m	 D = 6 m ; P = 1 m + remblaiement partiel	Pas d'évolution significative. Différence de diamètre en lien possible avec l'incertitude de mesure liée à l'opérateur.
FONT2023-8a	 D = 5 m ; P = 2 m	 D = 8 m ; P = 2 m	Tuyau d'irrigation traversant. Evolution lors des pluies de début mai (témoignage propriétaire).

FONT2023-8b	 D = 10 m ; P = 2 m	 D = 10 m ; P = 2 m	Tuyau d'irrigation traversant. Pas d'évolution significative.
FONT2023-8c	D = 1,2 m ; P = 0,3 m	Non visité	
FONT2023-9	D = 6 m ; P = 1,5 m	 D = 8 à 11 m ; P = 1,5 m	Affaissement, pas de rupture. Evolution significative.

FONT20 23-12	D = 2 m ; P = 0,8 m	Non visité	
-----------------	---------------------	------------	--

figure 14 – Comparaison par photo des fontis dans la zone de travaux récents entre 2023 et 2025

Pour mémoire, la note technique rédigée par le CEREMA en 2017 illustre deux affaissements en formation, l'un d'entre eux semble correspondre au FONT8b ou au FONT8b (figure 13).



FONT8a ou 8b en formation (4 x 5 m)



Affaissement (2 x 2 m) non localisé

figure 15 – Affaissements constatés par le CEREMA en 2017

3.2. INDICES REMARQUABLES DANS LE MNT

En complément, l'analyse du LIDAR HD réalisé par l'IGN en 2023, met en évidence des indices de dolines apparaissent hors emprise de la carrière, au droit du synclinal constitué de formations calcaires sur gypse (figure 16). Ces indices repérés sur MNT n'ont pas été visités sur le terrain, mais suggèrent la présence de phénomènes d'effondrement/affaissement naturels.

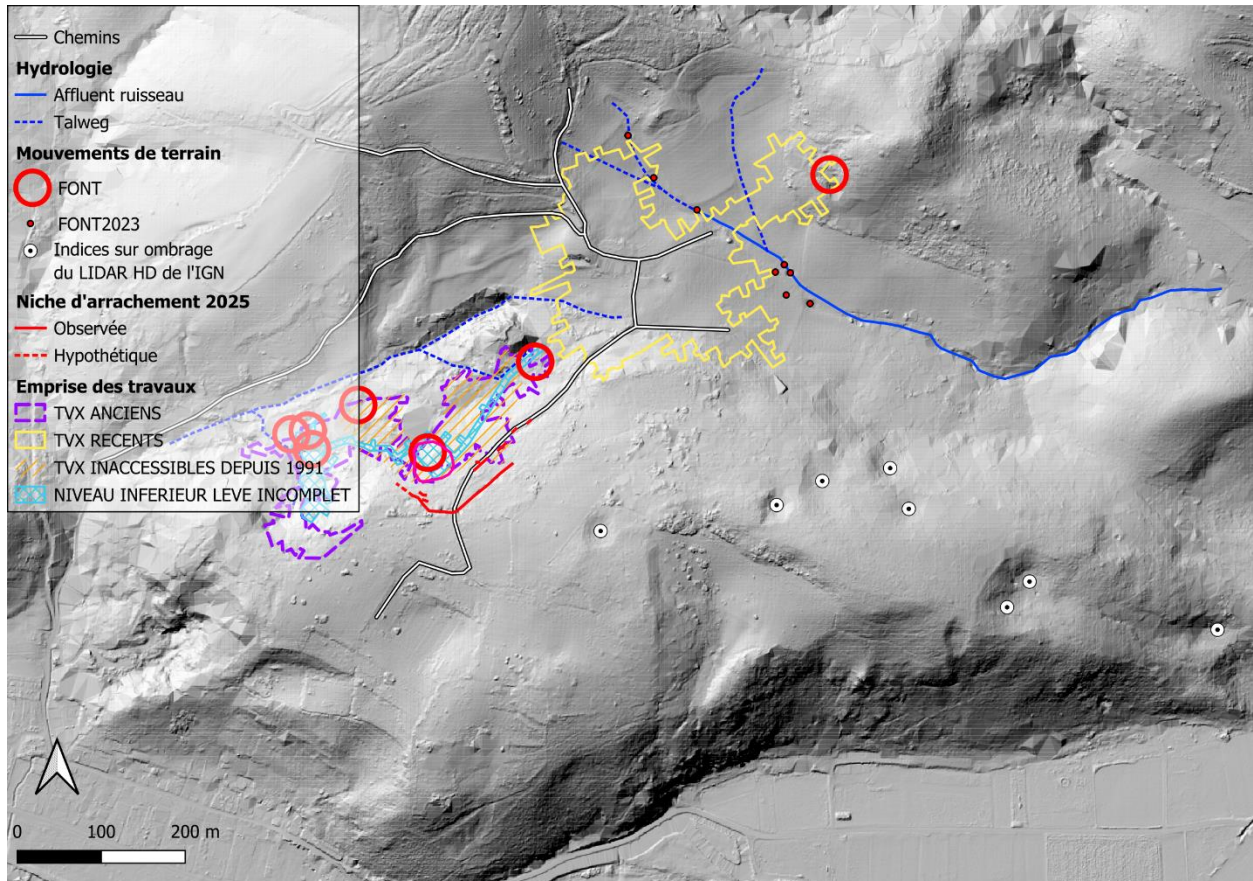


figure 16 – Indices de dolines pointés sur l'ombrage du levé LIDAR HD de l'IGN (2023)

3.3. ZONE DES TRAVAUX ANCIENS - GLISSEMENT DE TERRAIN

Les terrains surmontant la zone de travaux inaccessible de la zone d'anciens travaux de la carrière sont affectés par des glissements de terrain connus depuis au moins 1991 (INERIS, 1991) sans délimitation précise de ceux-ci :

« Les dépressions importantes visibles à mi-pente ont en effet modifié sensiblement la topographie du site et semblent induire des glissements de terrains évolutifs limités au versant ».

Les investigations de terrain du 19 mai 2025 ont permis de mettre en évidence l'ouverture d'une niche d'arrachement principale d'au moins 150 m linéaires encerclant la partie ancienne centrale de la carrière. Elle se trouve à une distance des limites d'exploitation connues comprise entre 8 et 60 m et se distingue dans l'ombrage du MNT (figure 18).

C'est dans ce secteur de la carrière que le fontis d'une cinquantaine de mètres de diamètres responsable de la coulée de boue de 2012 est survenu (figure 5 et figure 6). Les limites supposées de ce fontis ont été tracées en figure 17 et figure 18.

L'ouverture de cette niche d'arrachement présente une profondeur allant jusqu'à 8 m et met à jour les calcaires oolithiques du Lias inférieur (photos G, H et I de la figure 17). Le terrain naturel au droit de la niche d'arrachement est affecté par un rejet vertical allant jusqu'à 2,2 m et un rejet horizontal allant jusqu'à 1,5 m. La niche d'arrachement intersecte un chemin agricole et le rend impraticable par les véhicules malgré des tentatives de remblayage (photo H de la figure 18).

D'après les témoignages rapportés par les représentants de la commune, la première mention du constat de l'ouverture de cette niche date de 2020. Les véhicules agricoles pouvaient alors encore circuler sur le chemin moyennant le remplissage du vide par des remblais. L'ouverture a donc progressé selon une cinétique inconnue au cours des 5 dernières années.

Les terrains en aval de cette niche d'arrachement principale présentent :

- Des niches d'arrachement secondaires. 6 ont été pointées de longueur allant de 4 à 20 m (photos A, D, E, F, J sur la figure 18) ;
- Une tendance générale de la végétation arbustive à pencher vers l'aval.

De plus, un affaissement de 3 m de diamètre et 40 cm de profondeur affectant le chemin a été constaté. Il est associé à une niche d'arrachement de 3 m linéaire dans le talus amont du chemin. Cet affaissement est localisé à 7 m de la limite connue de la carrière. En prenant en compte l'incertitude de 5 m sur la localisation GPS ainsi que dans la partie effondrée en question - « il est impossible de connaître les limites exactes » (INERIS, 1991) - il est pertinent d'envisager que cet affaissement soit directement associé à une remontée de fontis au droit d'une galerie de la carrière.

Aucune niche d'arrachement n'a été observée plus à l'amont de la niche d'arrachement principale.

La terminaison Ouest de la niche d'arrachement principale et les terrains à l'aval du chemin n'ont pas été visités du fait d'une végétation dense qui limitait les observations et rendait dangereuse la progression sur un terrain affecté par des vides.

Les terrains agricoles affectés par la niche d'arrachement sont en partie hors périmètre de sécurité et ne sont plus exploitables. Ils concernent une partie des parcelles n°205, 206 et 208 qui sont par ailleurs déjà concernées en partie par le périmètre de sécurité précédemment établi (figure 17).

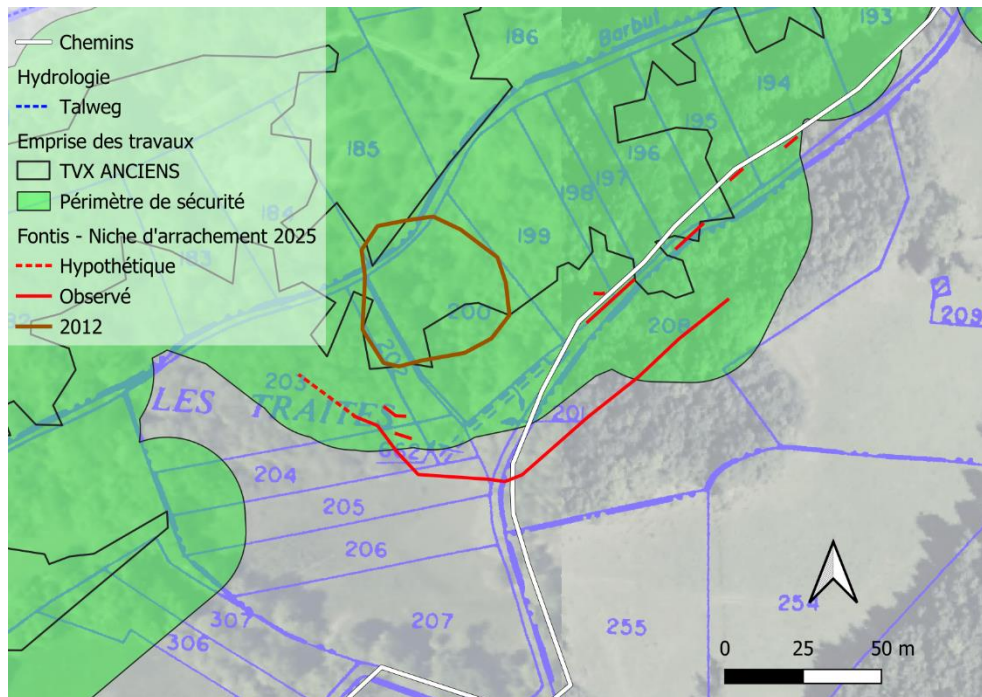


figure 17 – Observations 2025 sur parcellaire et périmètre de sécurité en vigueur au droit de la zone de glissement de terrain

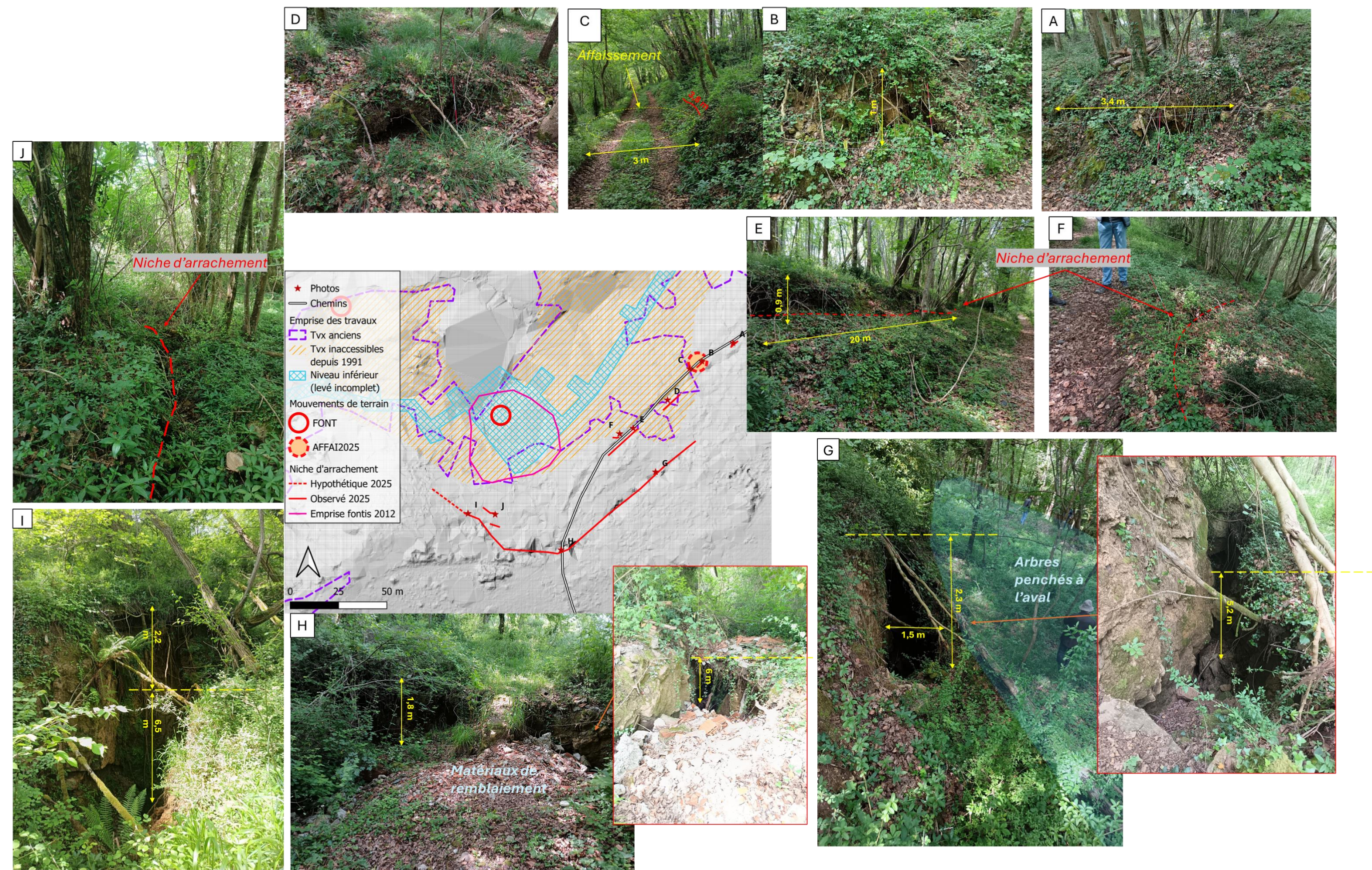


figure 18 – Photos 2025 localisées des mouvements de terrain repérés en amont des travaux de l'ancienne carrière

4. Diagnostic

Le diagnostic du présent rapport actualise celui dressé en 2023 dans le rapport BRGM/RP-73200-FR en examinant successivement le risque d'effondrement isolé (fontis), le risque d'effondrement généralisé (rupture de plusieurs piliers simultanément) et celui de coulée de boue déclenchée par l'un de ces types d'effondrements (rappel du diagnostic de 2012, rapport BRGM/RP-61655-FR). De plus, suite aux nouvelles observations réalisées lors de la visite de terrain de mai 2025, le risque de glissement de terrain, son lien avec les instabilités au droit de la carrière et son influence sur les autres risques sont examinés.

4.1. FONTIS (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-73200-FR)

Le phénomène d'effondrement localisé (couramment dénommé fontis), se manifeste classiquement par l'apparition soudaine d'un cratère d'effondrement. Ce type de phénomène peut avoir pour origine plusieurs mécanismes de rupture qui peuvent se développer seuls ou de manière concomitante et qui génèrent en surface des trous dont l'extension varie de moins d'un mètre de diamètre à quelques dizaines de mètres au maximum. L'instabilité peut résulter :

- de la remontée en surface d'une rupture du « toit » d'une cavité. Lorsque la voûte initiée par la rupture du premier banc rocheux ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface (figure 19) ;
- de la rupture d'un puits par l'effondrement de la structure mise en place en tête d'un puits vide (plancher en bois, voûte en briques, dalle, bouchon, etc.) ou par débouillage d'un puits remblayé.

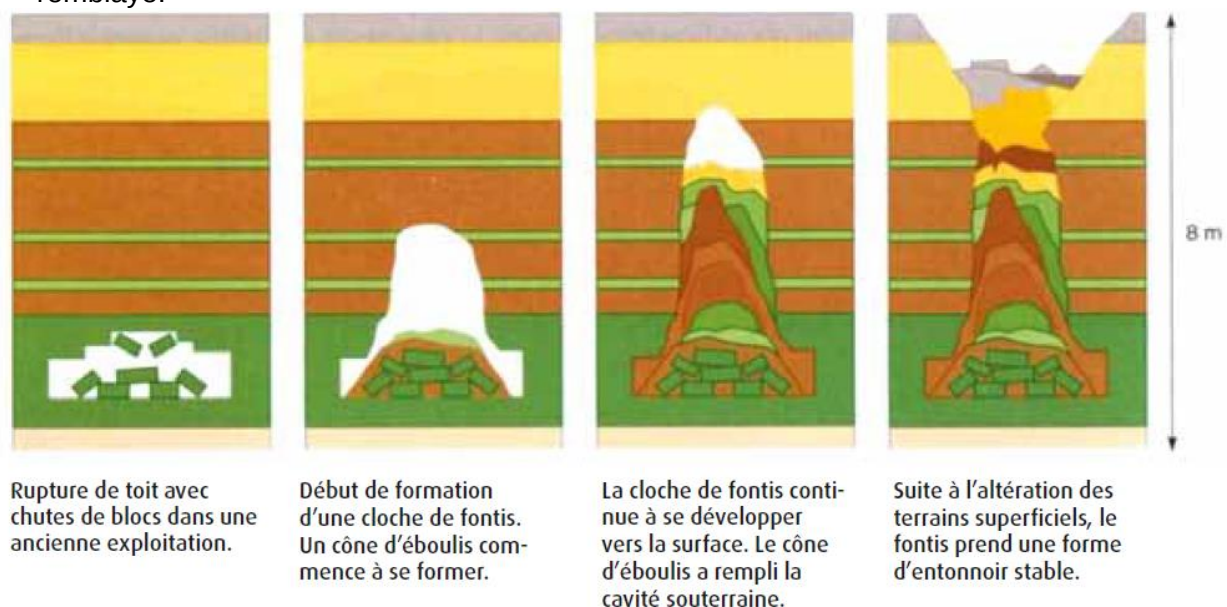


figure 19 - Schéma du développement d'une cloche de fontis (INERIS, guide PPR cavités souterraines)

Les fontis observés par le BRGM en 2023, et revisités en 2025, avaient soit été pointés par le CEREMA en 2017, soit n'avaient jusqu'alors pas été signalés. Ceci laisse présumer d'une occurrence des phénomènes dans la dizaine d'années après l'arrêt des travaux d'exploitation et avec une évolution des désordres au cours du temps.

Les données du LiDAR HD de l'IGN (disponibles depuis 2023) ont permis à posteriori de repérer des indices topographiques pouvant être des instabilités, y compris dans des zones fortement végétalisées. Ces « indices » ont été visités pour partie lors de la visite de terrain dans les zones accessibles. On relève également que de nouveaux indices (y compris hors zone d'emprise des carrières) sont apparents (figure 16).

Suivant l'INERIS, l'état des piliers au fond de l'exploitation et les indices de chutes de toit isolaient des zones d'effondrement préférentielles. On relève de façon assez systématique que les fontis sont « alignés » suivant les axes de drainage en surface. Ceci s'expliquerait principalement par les facteurs suivants :

- les apports d'eau de surface constituent un facteur aggravant à l'effondrement par saturation des terrains et par dégradation de leurs caractéristiques mécaniques (sols plus ou moins argileux et gypse) ;
- dans les axes de talweg, les hauteurs de recouvrement sont systématiquement les plus faibles (pour un mur d'exploitation tabulaire).

Un calcul géométrique de remontée de cloches de fontis renseigne sur la potentialité d'apparition d'événements en surface. Les hypothèses fortes de calcul sont :

- la géométrie des zones de « croisement » de galerie, ici largeur de 8 m x 8 m ;
- la hauteur de voute, comprise entre 6 et 9 m globalement ;
- la hauteur et la nature du recouvrement (foisonnement et angle de talus de dépôt) ;
- Le diamètre de la cloche de fontis.

Dans le cas de la carrière on retient en première approximation comme coefficient de foisonnement 1,3, comme angle de talus 35° et comme rayon en toit 4 m (diamètre 8 m soit 70% du diamètre envisageable en voute) au regard des observations faites en galerie par INERIS.

Dans ces conditions les remontées de fontis sont géométriquement possibles pour des recouvrements allant jusque 75 m. Pour un rayon en toit de 5,1 m (soit 90% du diamètre envisageable en voute), cette valeur chute à environ 55 m. Cette analyse montre que **l'apparition de fontis isolé de diamètre 10 m est complètement attendue sur l'ensemble du site** exploité récemment. Ceci est confirmé par les observations en surface. Les 1ères manifestations s'observent au niveau des axes de circulation d'eau (talwegs) et dans les zones de recouvrement les moins importantes a priori (points bas topographiques relatifs).

La survenance de fontis hors emprise théorique d'exploitation s'expliquerait soit par une imprécision / non complétude des plans fournis soit par des phénomènes de dissolution naturelle indirectement liés à l'exploitation dans la masse de gypse encaissante.

4.2. EFFONDREMENT GENERALISE (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-73200-FR)

Les effondrements en masse, également appelés effondrements généralisés, ne se développent qu'au sein d'exploitations présentant une extension latérale importante (figure 20). De tels phénomènes supposent l'existence d'une zone d'exploitation avec des taux de défrètement (rapport de la surface des vides à la surface totale) élevés, des volumes de vides importants et des configurations d'exploitation fragiles (piliers sous-dimensionnés, élancement important, etc.).

Ils trouvent leur origine dans une ruine générale des piliers, associée à la rupture concomitante des terrains de recouvrement et se développent, de fait, fréquemment sous des recouvrements

présentant un (ou des) horizon(s) raide(s), capable(s) de reprendre, temporairement, tout ou partie du poids des terrains de recouvrement (et ainsi autoriser la constitution de piliers sous-dimensionnés).

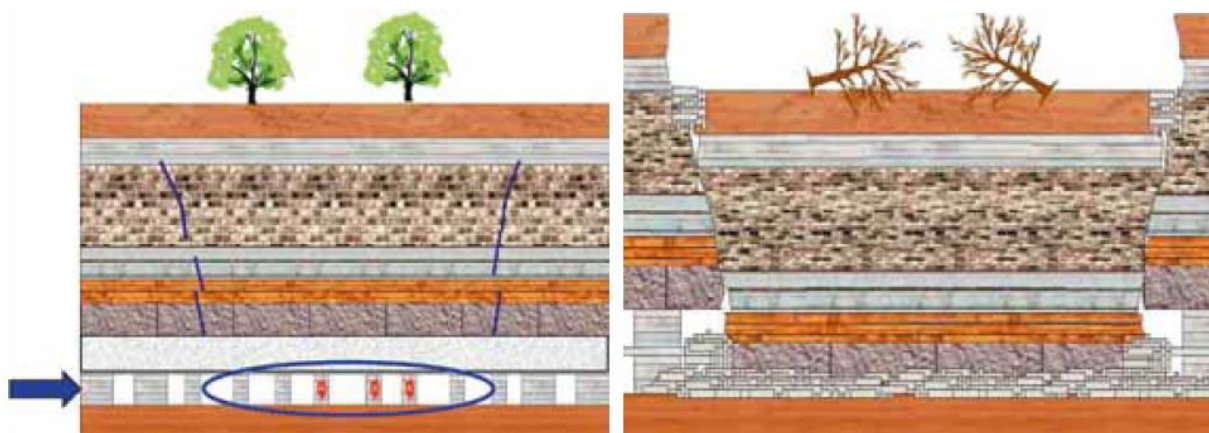


figure 20 - Schéma du développement d'un effondrement généralisé (INERIS, guide PPR cavités souterraines)

L'hypothèse d'un effondrement généralisé est fonction :

- de la géométrie et de la résistance des piliers ;
- du poids de la colonne de terrain reposant sur chaque pilier (charge répartie).

Les valeurs de résistance à la compression (R_c) des piliers varient entre 3,5 MPa (en absence d'eau) et 1,8 MPa (en condition saturée soit sur le long terme, extrait rapport INERIS GAI-JMW/JS7L6139/R01). Avec ces valeurs, un calcul sommaire du coefficient de sécurité (F = résistance des piliers par rapport au poids des terrains) montre l'évolution du coefficient de sécurité selon les paramètres influents :

Géométrie de piliers	Recouvrement	Conditions saturées $R_c = 1,8$ MPa	Conditions non saturées $R_c = 3,5$ MPa
Origine (12 x 12 m)	25 m	$F = 1,26$	$F = 2,44$
	45 m	$F = 0,69$	$F = 1,35$
	60 m	$F = 0,52$	$F = 1,01$
Dégradée (-10% surface)	25 m	$F = 1,13$	$F = 2,20$
	45 m	$F = 0,62$	$F = 1,21$
	60 m	$F = 0,47$	$F = 0,91$

Figure 21 : Analyse sommaire du risque d'effondrement généralisé (travaux récents)

Cette approche est sommaire et se base sur des calculs simples (Diagnostic de niveau 1 du guide IFSTARR de 2014). Selon les objectifs, une analyse de niveau 2 voire 3 pourrait être souhaitée.

On relève que **pour des conditions dégradées (géométrie dégradée + conditions saturées), la stabilité générale sur le long terme ne serait plus assurée pour des recouvrements supérieurs à 25-30 m**. En conditions non saturées cette valeur passe à près de 60 m. On note

que la chute du coefficient de sécurité est proportionnelle au ratio des résistances présumées à la compression en conditions non saturée / saturée.

La dissolution éventuelle de la masse de gypse (perte de surface de piliers) influe naturellement sur la stabilité générale (du même ordre que la perte de surface, ici 10% présumée).

L'évolution des caractéristiques mécaniques et d'une perte de surface éventuelle dans le temps est délicate à évaluer et dépend grandement des variations de niveau d'eau et des circulations d'eau dans la carrière (pouvoir de dissolution notamment).

4.3. COULEE DE BOUE, RAPPEL DU DIAGNOSTIC ETABLI EN 2012 (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-73200-FR)

La coulée de « boue » survenue dans la nuit du 29 au 30 Août 2012 est très probablement directement liée à l'effondrement d'une partie des galeries de la zone centrale de la carrière (galeries anciennes du 1^{er} niveau ou galeries exploitées ultérieurement à partir du passage en sous-niveau), l'instabilité ayant provoqué l'expulsion de l'eau ennoyant pour partie l'ouvrage souterrain par le biais de zones de fragilité du terrain naturel. Deux orifices correspondant selon toute vraisemblance aux exutoires de la « poche » d'eau ont été observés, se situant tous deux au contact entre le massif gypseux et les terrains meubles encaissants.

Ce risque avait été évalué par INERIS dans ses expertises successives (réf 71-6139/R01, réf DRS-00-26524/R01, réf DRS-01-26524/R02). Ces documents soulignaient - pour ce qui concernait les parties non encore effondrées - l'état de dégradation avancé des piliers et le risque d'effondrement en masse. Il était également mis en avant la possibilité, au droit de la zone centrale, d'une réactivation des désordres anciens par effondrement localisé dans le sous-niveau ennoyé. Ces diagnostics insistaient par ailleurs sur **le rôle majeur de l'eau sur l'évolution des conditions de stabilité des ouvrages souterrains existants**, soulignant explicitement la nécessité de maintenir les galeries dénoyées de façon à **éviter une dégradation rapide des caractéristiques mécaniques du gypse**.

A ce jour toute opération de pompage étant interrompue depuis la fermeture de la carrière (2003), et en l'absence d'exutoire naturel, il est probable qu'une partie plus ou moins importante des galeries anciennes soit aujourd'hui ennoyée (le niveau d'eau visible au niveau des fontis CG-1 et CG-5 en 2012 correspondant en principe au niveau statique de l'eau dans l'ouvrage souterrain, niveau observé en fond de trou à environ 2,5 m/TN au moment de la visite, BRGM/RP-61655-FR). Le niveau piézométrique n'était pas suivi en 2012.

En ce qui concerne la partie nord-est de la carrière (travaux « récents »), l'INERIS soulignait dans son diagnostic que, alors que les conditions de stabilité à court terme étaient jugées satisfaisantes, la stabilité des ouvrages souterrains ne pouvait être assurée à moyen terme, en particulier dès lors que le drainage des galeries n'était plus effectif (ce qui est effectivement le cas depuis l'arrêt de l'exploitation de 2003). Geobilan pour les Ets Saboulard (2003) confirmait ce point et insistait sur le fait qu'en conditions saturées, avec la perte significative de résistance mécanique du gypse, la stabilité des parties de carrière récentes n'était plus assurée et que le risque d'effondrement de terrain susceptible de se répercuter jusqu'en surface était réel.

4.4. GLISSEMENT DE TERRAIN DANS LA ZONE DE TRAVAUX ANCIENS

Le mouvement d'ensemble du versant à l'aval de la niche d'arrachement principale observé traduit l'accommodation des terrains en réaction à la perte de butée de pied du versant du fait des effondrements au droit de l'ancienne carrière. La formation du fontis de 2012 semble être

l'évènement responsable de la perte de butée de pied ayant déclenché ce glissement de terrain étant donné la position de la niche d'arrachement par rapport aux limites du fontis. On distingue donc :

- les terrains effondrés en lien avec le fontis de 2012 (surface estimée = 2000 m² ; volume estimé = 30 000 m³) ;
- les terrains amont, mis en mouvement par le glissement de terrain. La surface concernée représente actuellement environ 0,4 ha.

La figure 22 propose deux coupes schématiques d'interprétation du glissement de terrain en l'état actuel des connaissances. Un travail de synthèse documentaire plus complet pourra certainement donner lieux à l'amélioration de la connaissance du contexte et donc du phénomène. La géométrie exacte des galeries de la zone centrale de travaux anciens n'étant pas connues, il est supposé que leur profondeur se trouve à niveau des entrées, soit entre :

- l'entrée Ouest : 370 mNGF ;
- l'entrée par le puits-bouteille (397 mNGF) estimé à 20 m de profondeur et située au Nord-Est des anciens travaux : 377 mNGF.

Dans cette zone, en-dehors des fontis connus, les galeries sont inaccessibles depuis au moins 1991 (INERIS, 1991) et caractérisées comme « effondrées ». Par défaut de données plus précises, les galeries sans fontis en surface de la figure 22 sont représentées au stade de début de formation de cloche de fontis, avec un cône d'éboulis en formation au droit des galeries (figure 19).

La profondeur de la niche d'arrachement est inconnue. La figure 22 propose deux hypothèses de profondeur de niche d'arrachement : l'une recoupant les galeries en profondeur, l'autre rejoignant le niveau supérieur des terrains effondrés en 2012. A noter que l'absence de décrochement dans la topographie à hauteur du fontis dans le profil 2 peut être liée à la précision du MNT qui est localement de l'ordre du décimètre. Les phénomènes de glissement de terrain et d'effondrement des vides résiduels des galeries s'alimentent l'un et l'autre. En effet, cette accommodation inévitable des terrains constitue un facteur aggravant les phénomènes d'effondrements et donc de coulée de boue décrits précédemment du fait que :

- la formation de calcaire oolithiques surmontant les gypses et dans lesquels la niche d'arrachement s'exprime en surface est de nature peu poreuse et plutôt imperméable. L'ouverture des niches d'arrachement dans ce massif crée d'autant plus de chemins d'entrée des eaux pluviales vers le massif gypseux et les cavités non drainées. Or, comme décrit précédemment, l'eau joue un rôle majeur dans la dégradation des caractéristiques mécaniques du gypse, et donc de la stabilité des ouvrages souterrains ;
- le poids des terrains calcaires en mouvement ajoute de la poussée sur le pied du versant et donc sur les éventuels vides résiduels.

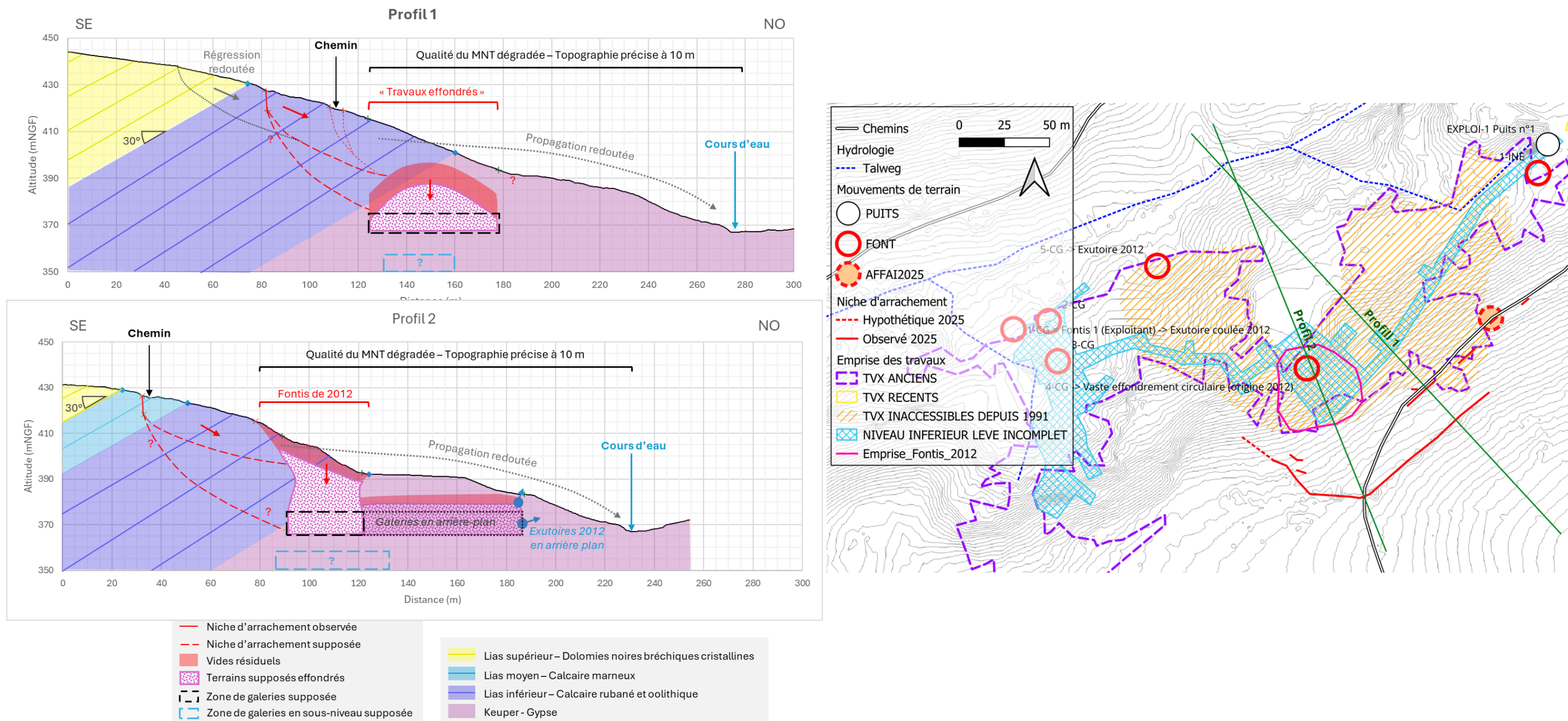


figure 22 – Coupes schématiques du glissement de terrain et de la carrière le long des profils 1 et 2 en l'état actuel des connaissances

5. Risque résiduel

5.1. VIS-A-VIS DE FONTIS (EFFONDEMENTS LOCALISES) (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-73200-FR)

Les fontis observés sont évolutifs et la poursuite de l'accentuation des phénomènes est à prévoir (élargissement et approfondissement localisé des zones d'effondrement). L'aléa effondrement doit être considéré comme élevé (forte probabilité d'occurrence et niveau d'intensité globalement modérée – i.e. diamètre de fontis entre 3 et 10 m).

Probabilité d'occurrence \ Intensité	faible	moyenne	forte
Très limitée (affaissements et effondrements autorembloyés)	faible	faible	moyen
Limitée (affaissements nets et petits fontis)	faible	moyen	moyen
Modérée (effondrements localisés)	moyen	moyen	fort
Élevée à très élevée (fontis importants et effondrement généralisé)	moyen	fort	très fort

Figure 23 : Exemple de grille d'évaluation de l'aléa (guide PPR cavités souterraines)

En dehors de l'habitation du « Barbut », il n'est pas recensé d'enjeu bâti sur le secteur. Le **risque est considéré comme fort pour l'habitation « Barbut »**. En dehors de cette zone (y compris le chemin d'accès à l'aplomb des travaux récent), le risque pour les biens et les personnes est faible à négligeable (absence quasi-totale de fréquentation en dehors de l'exploitant agricole et de sentiers de randonnée).

Il est noté qu'au voisinage des fontis observés, des glissements de terrains sont associés dans des contextes de pentes (anciens travaux et cas du glissement observé sur la zone récente). Sur l'ensemble du secteur soumis à autorisation les **personnes circulant sont exposées aux mouvements de terrain** (accès aux anciens travaux, à la descenderie en tranchée, sentiers, champs exploités par l'agriculture). Le sentier de Savoua (en amont de la zone effondrée en 2012) est notamment exposé (BRGM/RP-61655-FR).

5.2. VIS-A-VIS D'EFFONDREMENT GENERALISE (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-73200-FR)

A partir des valeurs de résistance à la compression, le risque d'effondrement généralisé est probable sur le long terme pour les recouvrements présumés sur site (25-45 m) en cas de dégradation des caractéristiques mécaniques des terrains. Le déclenchement de glissement de terrain dans des contextes de versant similaires à celui observé dans le présent rapport constituera un facteur aggravant la probabilité d'occurrence de ce phénomène. A ce stade :

- L'aléa est considéré comme « très fort » (intensité très élevée et probabilité d'occurrence forte) ;
- En l'absence d'enjeu dans la zone d'exploitation récente (hors habitation « Barbut ») le risque associé pour les biens et les personnes est faible à négligeable (absence de fréquentation). Pour l'habitation « Barbut », le risque est à considérer comme très fort.

En l'état des connaissances, le calcul est mené à partir du taux de défrètement et de la rupture d'un pilier. En général et selon les objectifs poursuivis, cette première approche est développée avec une modélisation numérique qui peuvent permettre de préciser les aléas.

5.3. VIS-A-VIS D'UNE COULEE TYPE 2012 (EXTRAIT DU RAPPORT BRGM/RP-73200-FR)

Une coulée de « boue » d'intensité potentiellement comparable à celle de fin août 2012 pourrait se reproduire en cas de nouveau désordre d'ampleur dans la zone des travaux « anciens ». Dans ces conditions les enjeux concernés sont le chemin d'accès et les habitations du hameau de Bonrepaux. **Le risque associé est considéré comme faible à très faible pour les biens compte tenu des épaisseurs faibles de matériaux redoutés. Les personnes circulant dans la zone sont en revanche exposées.**

En cas d'effondrement généralisé dans la zone de travaux « récents » on ne peut exclure une vidange brutale de la même façon que en 2012 mais à ce jour le niveau d'envoyage de la carrière n'est pas connu et l'exutoire semblerait être l'entrée de la carrière dans un contexte topographique favorable à la limitation des transports solides. Selon les configurations d'effondrement, une vidange par le secteur Ouest n'est pas exclue et pourrait se faire vers le ruisseau de Tourte. Dans cette zone aucun enjeu n'est répertorié. **Le risque associé pour les biens est donc négligeable.** Dans les deux cas, **les personnes circulant dans la zone sont en revanche exposées.**

Cet avis sur le risque résiduel est fortement lié i) au niveau d'envoyage de la carrière et ii) à la situation des zones effondrées par rapport aux exutoires. Même si le risque estimé est a priori faible, on ne peut exclure totalement que l'effet positif de la topographie des exutoires contrebalance suffisamment l'effet négatif d'un volume vidangé plus grand qu'en 2012.

5.4. VIS-A-VIS DE GLISSEMENTS DE TERRAIN

L'effondrement des vides résiduels de l'ancienne carrière constituant le moteur du glissement de terrain, il est attendu que le glissement de terrain continue d'évoluer.

Il existe un aléa résiduel lié à :

- l'ouverture de nouvelles niches d'arrachement, latéralement comme en amont de la niche d'arrachement principale connue (régression). Ce scénario, attendu dans les années à

venir, implique une zone d'inexploitabilité des terrains agricoles plus étendue. Aucun autre enjeu n'est répertorié dans la zone de régression potentielle. **Le risque associé pour les biens est donc négligeable. Les personnes circulant dans la zone sont en revanche exposées.**

- en conditions saturées, l'emballement du glissement de terrain. L'emballement signifie que le glissement deviendrait de plus en plus rapide de manière spontanée et imprévisible. Ce scénario implique deux aléas fils :
 - o la propagation : Les masses concernées se limitent aux terrains dépourvus de butée de pied, soit à la tranche de terrain au-dessus du vide créé par le fontis dans le profil 2 de la figure 19 (une quinzaine de mètres d'épaisseur sur 50 de longueur et 50m de largeur donc ~ 40 000 m³). En cas de propagation jusqu'en fond de vallée, il existe un risque de barrage du chemin et du cours d'eau. Le barrage du cours d'eau impliquerait la formation d'une coulée de boue vers le hameau de Bonrepaux. Une connaissance plus fine de la topographie du site permettrait de se prononcer sur la probabilité d'occurrence de ce scénario. En l'état, cet aléa n'est pas négligeable et une prise en compte de ce phénomène dans la cartographie du périmètre de sécurité est proposée en figure 24. Comme en section 5.3, **le risque associé pour les biens est considéré comme faible à très faible pour les biens compte tenu des épaisseurs faibles de matériaux redoutés. Les personnes circulant dans la zone sont en revanche exposées.**
 - o l'effondrement de galeries et une éventuelle chasse résultant en une coulée de boue. Comme en section 5.3, **le risque associé pour les biens est considéré comme faible à très faible pour les biens compte tenu des épaisseurs faibles de matériaux redoutés. Les personnes circulant dans la zone sont en revanche exposées.**

A la suite de fontis et/ou d'effondrement généralisé dans des contextes similaires de pied de versant, il est très probable que de nouveaux glissements de terrains se forment via le même phénomène d'accommodation des terrains à la perte de butée de pied. La figure 24 pointe les versants concernés par un contexte favorable à la régression.

Dans le versant affecté, comme au droit des versants en contexte similaire, se trouvent des terrains agricoles exposés à un risque d'inexploitabilité. Aucun enjeu n'est répertorié. **Le risque associé pour les biens est donc négligeable. Les personnes circulant dans la zone sont en revanche exposées.**

La figure 24 propose une mise à jour du périmètre de sécurité du site. Celle-ci permet de prendre en compte :

- la zone de glissement de terrain en appliquant un tampon de 25 m autour de la niche d'arrachement ;
- les contextes favorables à l'apparition de glissement de terrain et régression en cas de fontis en pied de versant (versant présentant une pente > 10° et la présence de galeries en pied) ;
- la zone de propagation potentielles. Etant donné l'imprécision du LIDAR HD dans la zone concernée, toute la vallée à l'aval des anciens travaux a été pointée.

Les zones de régression et de propagation sont pointées ici à dire d'expert étant donné l'état actuel des connaissances. Une modélisation de stabilité des pentes basée sur un MNT actualisé et d'une précision métrique permettrait de préciser ces zones.

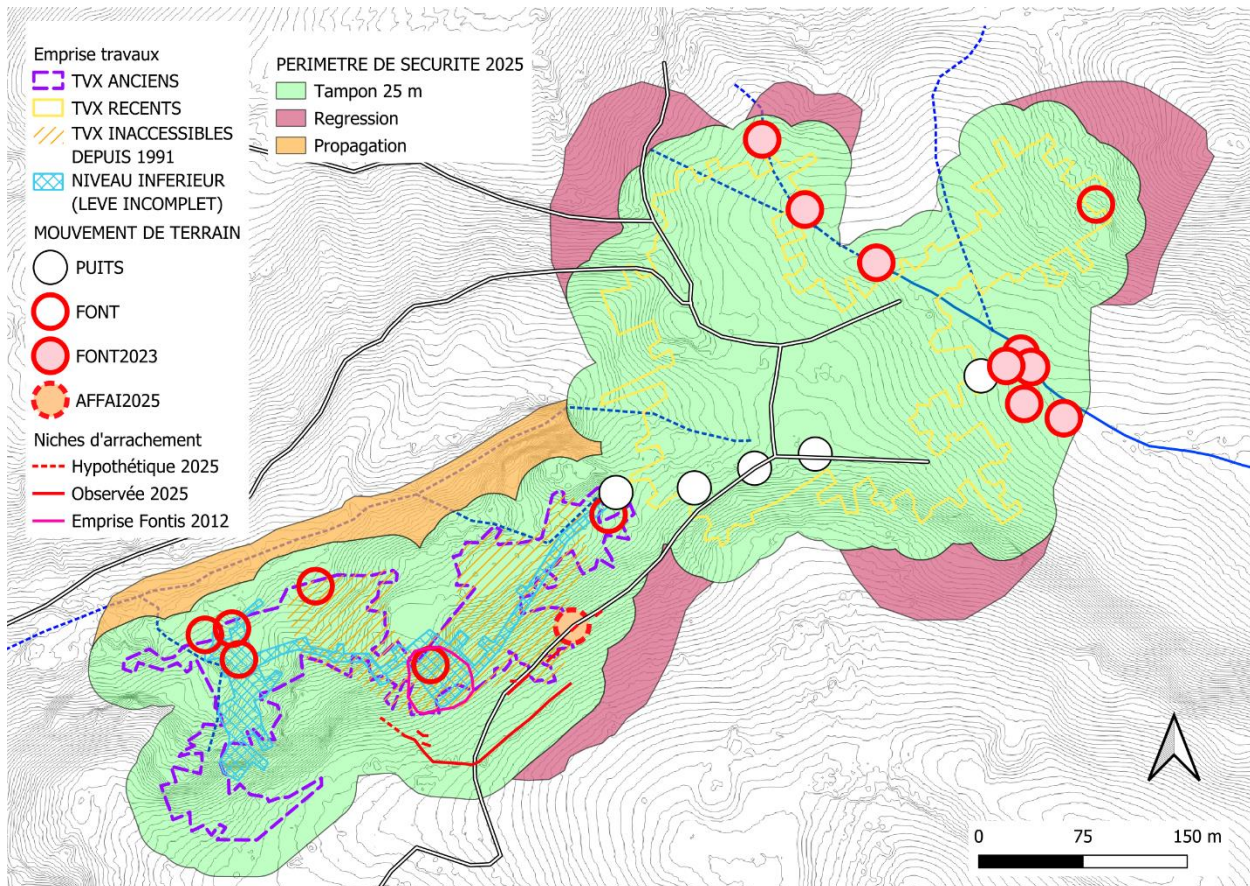


figure 24 – Mise à jour 2025 du périmètre de sécurité avec prise en compte de la nouvelle niche d'arrachement et intégration des zones de régression et de propagation redoutées

6. Recommandations (actualisation à partir du rapport BRGM/RP-73200-FR)

Sur la base du diagnostic précédemment établi, des mesures de sécurisation sont proposées. Elles relèvent de trois principes d'actions complémentaires :

- restreindre au maximum l'accès aux zones exposées ;
- minimiser autant que possible les conséquences potentielles sur le Village de Bonrepaux en cas de coulée de « boue » ;
- assurer le suivi d'évolution du site dans son ensemble dans le cadre de la procédure d'abandon.

• Immédiatement :

- renforcer l'interdiction d'accès au public au droit de l'ensemble du périmètre de sécurité (figure 24). L'accès aux terres agricoles peut a priori être conservé (chemin hors zone d'emprise des terrains sous-cavés) ;
- matérialiser physiquement ce périmètre de sécurité et poser une signalétique adaptée ;
- intégrer/mettre à jour le périmètre de sécurisation a minima dans les documents d'urbanisme comme zone à risque de mouvement de terrain avéré.

- **Dans les meilleurs délais :**

En première action, il est recommandé aux intervenants à qui le sujet sera confié de prendre en compte tous les documents historiques existants afin de dresser une synthèse aussi détaillée que nécessaire.

Coulée de boue (zone Est)

La gestion du risque passe par des solutions de :

- suppression de l'aléa : ce qui correspond au comblement. Pour les niveaux anciens cela paraît assez illusoire compte tenu de la méconnaissance des vides résiduels et de l'état des travaux déjà réalisés ;
- limitation de l'aléa : comme recommandé en 2012, de façon à lutter contre l'engorgement et la mise sous pression des galeries, il pourrait être envisagé :
 - soit de créer au niveau des parties anciennes de la carrière, un ou plusieurs exutoires par forage permettant d'évacuer les eaux soit gravitairement, soit par remontée artésienne. Les eaux ainsi drainées pourraient être évacuées par le ruisseau de Tucan (il conviendrait au préalable de s'assurer que celui-ci est en mesure de recevoir ces apports). De façon à limiter les problèmes de réalisation et de pérennité de ces ouvrages, il pourrait s'agir de forages inclinés réalisés depuis l'extérieur de l'emprise de la carrière (faisabilité à vérifier notamment selon la topographie) ;
 - soit par pompage comme envisagé initialement. Cette solution semble moins intéressante car elle est considérée comme « active » (maintien de pompage alimentés) contrairement au drainage qui peut être considéré comme « passif » une fois réalisé.
- protection contre l'aléa : afin de protéger les zones habitées du hameau de Bonrepaux, une alternative consiste à aménager l'exutoire éventuel des eaux (en aval de l'ancienne plateforme de la carrière) en cas de nouvelle vidange rapide. Il s'agirait de créer un bassin d'orage avec décantation de matériaux charriés. Dans ce cadre, un aménagement du ruisseau du Tucan (protection des berges) sera à prévoir et des études d'implantation et de dimensionnement de l'ouvrage hydraulique (bassin tampon, plage de dépôt, seuils en gabions ou autres) seront à réaliser.

Le choix de la solution méritera d'une part un approfondissement des analyses pour vérifier les faisabilités et la comparaison des coûts/bénéfices ces deux dernières approches.

Un suivi d'évolution des désordres est à formaliser :

- à l'échelle du site exploité : fontis, niche d'arrachement, désordres en surface (fréquence de visite annuelle). Un état « zéro » avec la réalisation d'un Lidar HR est conseillé (imprécision du Lidar HD de l'IGN en zone sous couvert forestier) afin de dresser un état des lieux exhaustif des désordres ;
- au niveau de l'habitation (occupée partiellement apparemment) un suivi d'évolution des fissures est nécessaire (pose de témoins de fissures minima).

Ensemble du site

- la réalisation de piézomètres nivelés, au moins 3 au droit de la partie ancienne de la carrière, et 3 au niveau des travaux récents permettrait de suivre précisément l'évolution du niveau d'eau au sein des galeries (et du sous-sol) et ainsi de mieux évaluer les risques sur le long

terme. Des analyses chimiques des eaux sont en outre recommandées afin de juger du pouvoir de dissolution des eaux transitant par les vides souterrains ;

- la réalisation de mesures géophysiques afin d'évaluer l'ampleur des vides existants en souterrain (notamment sur la zone des travaux anciens) et des zones ennoyées pourrait s'envisager ;
- des indices de fontis non forcément liés à l'exploitation sont relevés sur le Lidar HD de l'IGN au sud-est de la zone exploitée. Ces indices n'ont pas été visités. Bien qu'aucun enjeu ne soit présent dans ces zones un diagnostic de l'état de ces fontis et des causes associées mériterait d'être engagé.

L'ensemble de ces travaux de reconnaissance aideront à définir la stratégie de gestion du risque et en particulier la nature et l'ampleur des éventuels travaux de sécurisation.

Remarque

L'INERIS est intervenu en novembre 2017 après le dénoyage complet de la carrière pour pouvoir établir un diagnostic géotechnique à jour et pour apprécier des solutions de mise en sécurité pérennes du site (zone de travaux récents, figure 9). Selon INERIS :

« Deux approches, réalisables dans un délai raisonnable (quelques dizaines d'années), peuvent être envisagées :

- *un abandon du site associé à des travaux de mise en sécurité vis-à-vis de la surface et des enjeux existants ou futurs : [...] comblement de la carrière ;*
- *une reprise de l'exploitation encadrée par un dossier technique adapté à un tel projet et définissant entre autre, les mesures de remise en état du site sur le long terme.*

Si l'on excepte une solution de délocalisation totale des activités et la condamnation des terrains de surface, il est possible d'envisager des travaux de sécurisation par comblement ou par reprise de l'exploitation. »

Par la présente expertise, le BRGM évalue le risque (en tenant compte des enjeux) comme faible à négligeable compte tenu notamment des occupations autorisées et ce en dépit d'aléa fort d'effondrement localisé voire généralisé et de l'aléa fort glissement de terrain. A cet égard il semble que des solutions passives (aménagement hydraulique, suivi, gel des activités en surface) semblent plus adaptées comme stratégie de gestion du risque qu'une mise en sécurité du site par comblement notamment. Cela étant, et avant toute décision, une analyse économique apparaît nécessaire en intégrant les aléas redoutés et des variantes envisageables de mise en sécurité.

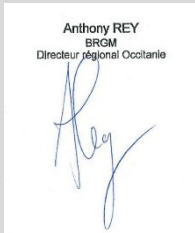
7. Annexes

Annexe 1 Fiche navette de demande d'appui

BRGM DR / OCC	Appui aux Administrations - Fiche de demande d'intervention
--------------------------------	--

Objet de l'appui sollicité : Evaluer le risque associé à l'apparition de fontis à proximité d'une zone de carrière de gypse (PRAT-BONREPAUX, 09) <i>Le cas échéant, préciser sur papier libre en PJ le contexte de l'intervention (motif de la sollicitation, contraintes techniques et réglementaires, personnes concernées, etc....).</i>	Demandeur Administration : DREAL OCC Direction : Direction des risques industriels Service : Sol, sous-sol, éoliennes et pôle après-mine sud Interlocuteur : Ph. Chartier
--	--

Mission demandée au BRGM : Suite à la découverte d'un nouveau fontis sur le site il est demandé : - une analyse de l'évolution de la stabilité des terrains et si possible une projection à court terme sur son évolution ; - une évaluation du niveau de risque pour les biens et les personnes sur la zone considérée ; - une évaluation des mesures conservatoires à mettre en place pour assurer la sécurité des personnes (conditions d'accès notamment)	Typologie de l'action : ☐ Type 1 : Rassembler des connaissances existantes ☒ Type 2 : Expertise avec processus de vérification systématique du rapport ☐ Type 3 : Informer, communiquer, participer à réunions
--	---

Date de la demande : 10.04.2025 Date de réponse souhaitée : 31.05.2025 Proposition BRGM : Descriptif : Descriptif : Intervention sur site : visite, constat Diagnostic Evaluation de risque résiduel lié à l'évènement Recommandations Lien d'intérêt institutionnel (2) : ☒ Non ☐ Oui cf. note en PJ Durée de réalisation : 3-4 j Délai de réalisation : 15 j – 3 semaines Nature du rendu : Intervenant (3) : 1 agent BRGM + B. Colas Date : 05/05/2024 Signature : 	Format souhaité : ☒ rapport (obligatoire si type 2) ☐ autre (préciser) : ☐ documents annexés : Accès : ☒ public immédiat (1) ☐ public différé (délai : n mois) Accord du demandeur : A : Montpellier Le : 05.05.2025 Visa :  Copie DREAL : ag-dbag-ucp@developpement-durable.gouv.fr
--	---

(1) En application des dispositions de la loi « CADA » du 17 juillet 1978 modifiée en 2000 et 2002, tous les dossiers d'appui aux administrations font l'objet de rapports publics à accès immédiat, à l'exception de ceux qui sont préparatoires à une décision administrative, lesquels ne sont rendus accessibles qu'une fois cette décision prise.

(2) Liens entre l'objet de l'expertise ou le demandeur d'une part et le BRGM d'autre part, susceptibles de compromettre sa neutralité.

(3) Après vérification de l'absence de lien d'intérêt individuel ou déclaration d'un lien (IM 362 EXP) porté à la connaissance des parties prenantes (cf note en PJ) et accepté par le demandeur car ne compromettant pas la neutralité du BRGM.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

**Direction régionale du BRGM Occitanie – Site de
Toulouse**

3, rue Marie-Curie
31520 RAMONVILLE-SAINT-AGNE
Tél. : 05 62 24 14 50

www.brgm.fr