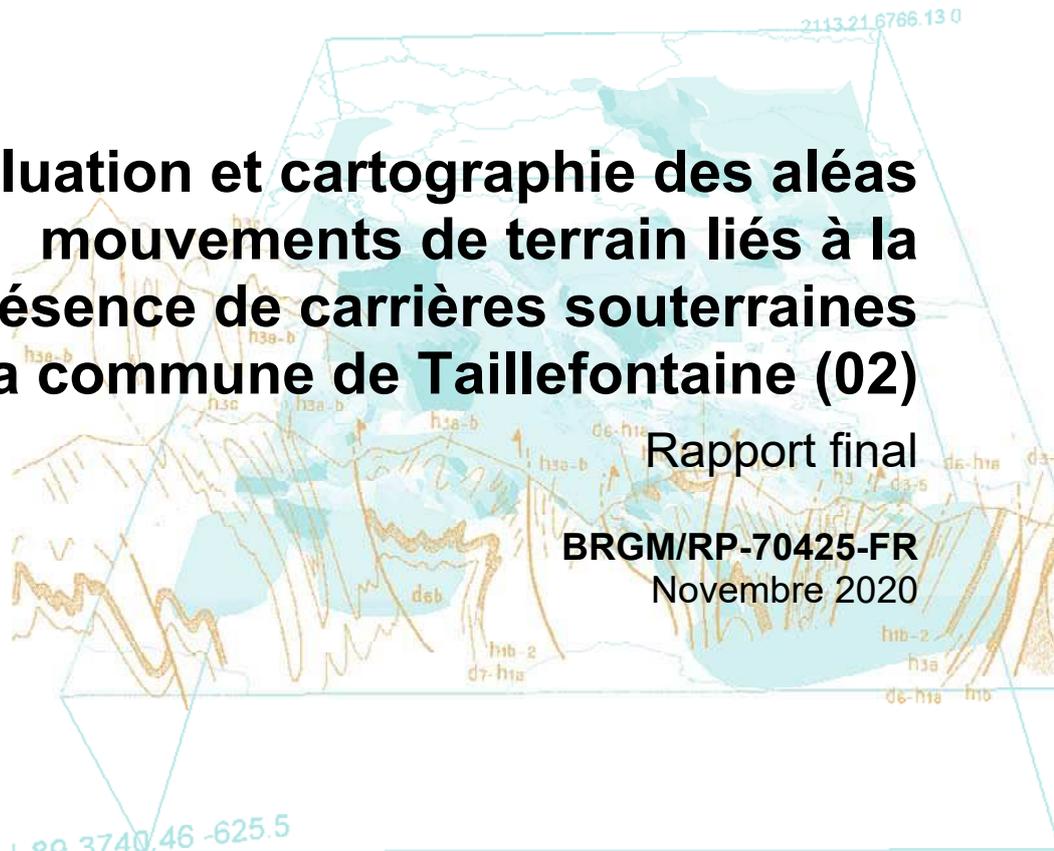


Document public



**Evaluation et cartographie des aléas
mouvements de terrain liés à la
présence de carrières souterraines
sur la commune de Taillefontaine (02)**

Rapport final

BRGM/RP-70425-FR

Novembre 2020



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain liés à la présence de carrières souterraines sur la commune de Taillefontaine (02)

Rapport final

BRGM/RP-70425-FR

Novembre 2020

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2020

Szczyglowski M., Noury G., Hannion Y.

Avec la collaboration de

Yart S., Masson F., Plancon C., et Abad J.

Vérificateur :

Nom : B. Chevrier

Fonction : Ingénieur géotechnicien

Date : 10/12/2020

Signature :



Approbateur :

Nom : P. Pannet

Fonction : Directeur régional

Date : 11/12/2020

Signature :



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

Contact : qualite@brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : Cavité, Carrière souterraine, Piliers, Chambre, Mouvement de terrain, Effondrement, Affaissement, Diagnostic de stabilité, Carte d'aléa – Taillefontaine, Aisne, Hauts-de-France

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

Szczyglowski M., Noury G., Hannion Y., avec la collaboration de **Yart S., Masson F., Plancon C. et Abad J.** (2020) – Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain liés à la présence de carrières souterraines sur la commune de Taillefontaine (02). Rapport final. BRGM/RP-70425-FR, 100 p., 38 ill., 5 tabl., 8 ann. (dont 4 planches hors-texte).

Synthèse

Les carrières souterraines présentes sur la commune de Taillefontaine (02) ont été creusées dans des calcaires d'âge Lutétien, à des fins de construction, comme de nombreuses autres dans la région de Paris et l'Aisne. A Taillefontaine, les cavités connues ne présentent qu'un seul niveau et ont été creusées suivant la méthode, courante pour ce type de matériaux, des chambres et piliers. Les accès se font en cavage (à flanc de coteau) et se répartissent globalement entre 112 et 120 m NGF. Leur exploitation s'est manifestement faite de manière artisanale comme en témoigne la forme irrégulière des piliers. Ces éléments de contexte sont présentés au chapitre 2.

Quatre mouvements de terrain de type affaissement ou effondrement de terrain sont par ailleurs survenus par le passé sur la commune. Leur origine peut être attribuée à une déstabilisation des cavités sous-jacentes.

Afin de pallier les lacunes de connaissances concernant ces carrières, un inventaire a été réalisé dans le cadre de la présente étude, réalisée par le BRGM pour le compte de la commune de Taillefontaine. Vingt-et-une cavités sont dorénavant recensées sur la commune. La base de données nationale BDCavité sera mise à jour en fonction des résultats de l'étude. Suite à ce recensement, onze carrières ont fait l'objet d'une visite et ont été cartographiées (scan laser 3D). Ce travail d'inventaire est détaillé au chapitre 3.

Quatre de ces carrières ont fait plus spécifiquement l'objet d'un diagnostic de niveau 1 selon la méthodologie nationale (IFSTTAR, 2014), incluant l'évaluation et la cartographie de l'aléa du phénomène redouté, à savoir l'effondrement localisé :

- PICA0020015 : route de Compiègne (cavité n°7) ;
- PICA0020016 : Grande rue (cavité n°23) ;
- PICA0020017 : chemin du Jeu d'Arc (cavité n°4-5-15) ;
- Une habitation troglodytique en contre-bas de la RD 973 (cavité n°1).

L'état général de ces quatre cavités est globalement satisfaisant, mais il existe des instabilités localisées parfois importantes (faible recouvrement, remontées de fontis, piliers fracturés, présence de karst) qui doivent être prises en compte à l'avenir. Une partie des cavités est ainsi concernée par des aléas atteignant des niveaux « moyen », « fort » et « très fort ».

Plusieurs enjeux forts se situent à l'aplomb de tels niveaux d'aléa, en particulier : un bâtiment d'habitation situé au-dessus de la galerie d'entrée de la carrière n°23 et la route de Compiègne (RD 973) que sous-cave la cavité n°1 (en bon état). Les travaux de cartographie indicative, d'évaluation et de cartographie de l'aléa font l'objet du chapitre 4.

Le résultat de ce travail implique une série de recommandations, traitées au chapitre 5. Elles concernent non seulement la prise en compte par les aménageurs des résultats de la présente étude mais, au vu de certains niveaux d'aléa et des enjeux en présence, elles vont au-delà de ce qui est normalement prévu dans un diagnostic de niveau 1. Des mesures de sécurisation sont ainsi suggérées, avec notamment : une fermeture des accès (la plupart étant ouverts et donnant sur l'espace public), des confortements à effectuer au fond des cavités (en particulier, au niveau de remontées de toit, de certains piliers présentant un état précaire et au niveau des puits non-remblayés) et des mesures de surveillance. Dans cette optique de sécurisation à long terme, des études complémentaires, via des diagnostics de niveau 2 (voire 3) permettraient de préciser les risques et d'adapter au mieux les mesures de sécurisation.

Sommaire

1. Introduction	11
1.1. CONTEXTE GENERAL	11
1.2. OBJECTIFS DE LA PRESENTE ETUDE	11
2. Contexte géologique et historique.....	13
2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE	13
2.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	15
2.3. GENERALITES CONCERNANT LES EXPLOITATIONS SOUTERRAINES	16
3. Collecte documentaire et inventaire des cavités	19
3.1. ETAT DES CONNAISSANCES EN AMONT DE L'ETUDE	19
3.1.1. Etat des connaissances avant 2016.....	19
3.1.2. Rappel sur les travaux du BRGM réalisés à Taillefontaine en 2016 et 2017	22
3.2. RECHERCHES COMPLEMENTAIRES	24
3.2.1. Collecte des données disponibles.....	24
3.2.2. Enquête communale	25
3.3. SYNTHESE : INVENTAIRE DES CAVITES A FIN 2020	28
3.4. SINISTRALITE.....	28
4. Cartes informatives et évaluation des aléas.....	31
4.1. LISTE DES CAVITES CARTOGRAPHIEES PAR LE BRGM	31
4.2. METHODES MISES EN OEUVRE.....	33
4.2.1. Outils cartographiques	33
4.2.2. Observations de terrain et cartes informatives	33
4.2.3. Diagnostic de stabilité des carrières souterraines	34
4.2.4. Choix faits pour la cartographie : notion de marge de sécurité.....	37
4.3. OBSERVATIONS ET EVALUATION DES ALEAS AU NIVEAU DES QUATRE CARRIERES PRINCIPALES	38
4.3.1. PICAW0020015 (cavité n°7)	38
4.3.2. PICAW0020016 (cavité n°23)	47
4.3.3. PICAW0020017 (cavité n°4-5-15).....	54
4.3.4. Cavité n°1	60

4.4. OBSERVATIONS SUPPLEMENTAIRES SUR DEUX AUTRES CAVITES	63
4.4.1. Cavité n°9 : chemin de Thimet.....	63
4.4.2. Cavité n°19 : face à l'école élémentaire.....	64
4.4.3. Cavité n°38 : hangar de l'école	64
5. Recommandations	66
5.1. RECOMMANDATIONS D'ORDRE GENERAL.....	66
5.2. RECOMMANDATIONS SPECIFIQUES.....	66
5.2.1. Mesures de sécurisation à envisager rapidement (quelques mois).....	67
5.2.2. Compléments d'étude.....	69
6. Bibliographie	71

Liste des figures

Illustration 1 – Extrait des cartes géologiques d'Attichy et de Villers-Cotterets sur la commune de Taillefontaine (© BRGM).....	14
Illustration 2 – Localisation des carrières souterraines, affectées ou non par la fantomisation (extraite de Devos et al., 2011).....	16
Illustration 3 – Observations réalisées en souterrain au niveau de la cavité PICAW0020017 (Extrait de la note technique de Mouron R., 1987)	21
Illustration 4 – Cavités souterraines et mouvements de terrain répertoriés dans les bases de données et cavités découvertes en 2017	23
Illustration 5 – Localisation des sondages préconisés par le BRGM en juin 2017 (Jacob et al., 2017, BRGM/RP-66977-FR) et profondeurs des terrains décomprimés et zones de vides identifiés lors de la campagne de forages réalisée en octobre 2017 (extrait du rapport Hydrogéotechnique, 2017)	25
Illustration 6 – Résultats de l'étude microgravimétrique et des sondages de contrôle réalisés par Fondasol en 2014 sur les parcelles AB0471, AB0472 et AB0473 (tableau des résultats de sondages au bas de la carte).....	27
Illustration 7 – Nouvelles cavités répertoriées à l'issue de la phase documentaire (bibliographie, enquête communale).....	30
Illustration 8 – Cavités souterraines ayant fait l'objet d'une cartographie (levé 3D) sur la commune de Taillefontaine.....	32
Illustration 9 – Entrée principale en cavage de la cavité n°7, route de Compiègne – RD 973 (Google Street View, avril 2018).....	38
Illustration 10 – Entrées secondaires en cavage de la cavité n°7 (avec zoom sur les entrées les plus au Nord, cachées par la végétation), chemin accessible depuis la RD 973 au Nord de la commune (source : photos prises le 03 août 2020).....	39
Illustration 11 – Vue 3D générale de la carrière PICAW0020015 (cavité n°7) (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante ; flèches rouges : montées de voûte notables)	41
Illustration 12 – Planche photographique présentant quelques phénomènes observés dans la cavité n°7 : chute de toit récente (A), pilier fracturé (B) et décollement de toit (C) avec blocs au sol issus d'une chute de toit récente (D) (source : photos prises le 10 février 2017)	42
Illustration 13 – Carte informative sur les observations réalisées en fond et en surface en octobre 2019 sur la carrière n°7	43
Illustration 14 – Carte de prédisposition à la montée de fontis sur la carrière n°7.....	44
Illustration 15 – Carte d'intensité attendue pour l'aléa effondrement localisé sur la carrière n°7	45
Illustration 16 – Cartographie de l'aléa effondrement localisé (et des aléa liés à la présence d'un front de taille) sur la carrière n°7.....	46
Illustration 17 – Entrée principale en cavage de la cavité n°23 (avec zoom sur l'entrée dégagée, source : photo prise le 03 août 2020), Grande rue (Google Street View, juillet 2013)	47
Illustration 18 – Vue 3D générale de la cavité PICAW0020016 (cavité n°23) (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante ; flèche rouges : montées de voûte notables).....	49
Illustration 19 – Carte informative sur les observations réalisées en fond et en surface en octobre 2019 sur la carrière n°23	50
Illustration 20 – Carte de prédisposition à la montée de fontis sur la carrière n°23.....	51

Illustration 21 – Carte d'intensité attendue pour l'aléa effondrement localisé sur la carrière n°23	52
Illustration 22 – Cartographie de l'aléa effondrement localisé sur la carrière n°23	53
Illustration 23 – Entrée en cavage de la carrière n°4-5-15, chemin du Jeu d'Arc, avec au premier plan un opérateur et le scanner laser 3D (source : photo prise le 10 février 2017)	54
Illustration 24 – Vue 3D générale de la cavité PICA0020017 (cavité n°4-5-15) (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante ; flèches rouges : montées de voûte notables).....	55
Illustration 25 – Vue en coupe de la cavité n°4-5-15 sous le chemin du Jeu d'Arc (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante).....	55
Illustration 26 – Remontées de fontis au niveau de l'entrée principale de la cavité n°4-5-15 (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante).....	56
Illustration 27 – Carte informative sur les observations réalisées en fond et en surface en octobre 2019 sur la carrière n°4-5-15	57
Illustration 28 – Carte de prédisposition à la montée de fontis sur la carrière n°4-5-15	58
Illustration 29 – Cartographie de l'aléa effondrement localisé sur la carrière n°4-5-15	59
Illustration 30 – Entrée en cavage de la cavité troglodytique n°1, sous-cavant le RD 973 (source : photo prise le 10 février 2017)	60
Illustration 31 – Vue en coupe de la cavité n°1 sous la RD 973 (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante	61
Illustration 32 – Carte informative sur les observations réalisées en fond et en surface en octobre 2019 (à gauche) et cartographie de l'aléa effondrement localisé (à droite) sur la carrière n°1	62
Illustration 33 – Emprise de la cavité n°9 (ombrage au niveau du toit).....	63
Illustration 34 – Emprise de la cavité n°19 (ombrage au niveau du toit ; cercles rouges : remontées de fontis)	64
Illustration 35 – Vue 3D générale de la cavité n°19 (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante)	65
Illustration 36 – Vue en coupe Nord-Sud de la cavité n°19 (deux remontées de fontis observées dont une à travers une fracture ouverte ; code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante)	65
Illustration 37 – Schéma d'évolution d'un fontis (modifié d'après IFSTTAR, 2014)	79
Illustration 38 – Aléa effondrement localisé associé à un puits avec présentation des notions de cône d'effondrement (Rc, considéré dès la cartographie de l'intensité) et de marge d'incertitude (Mi, considéré à la cartographie finale de l'aléa) (GEODERIS, 2012) .	81

Liste des tableaux

Tableau 1 – Résultats des essais en laboratoire réalisés sur des échantillons prélevés dans des carrières dans un contexte similaire à Taillefontaine)	18
Tableau 2 – Cavités recensées sur la commune de Taillefontaine à l'issue de la phase documentaire (archives, enquête communale)	29
Tableau 3 – Matrice d'évaluation de la stabilité des piliers	79
Tableau 4 – Matrice de hiérarchisation de l'intensité	80
Tableau 5 – Matrice de hiérarchisation de l'aléa.....	80

Liste des annexes

Annexe 1 Courrier de la mairie aux riverains dans le cadre de l'enquête communale (N/Réf : 35/2018)	73
Annexe 2 Détails sur la méthode d'évaluation de l'aléa effondrement localisé choisie dans le cadre de la présente étude	77
Annexe 3 Représentation (en figures et en coupes) des principales instabilités constatées dans la cavité n°7 à l'aide des données en 3D issues des levés ZEB.....	85
Annexe 4 Représentation (en figures et en coupes) des principales instabilités constatées dans la cavité n°23 à l'aide des données en 3D issues des levés ZEB.....	93

Planches hors-texte

Commune de Taillefontaine (02) – Cartographie des cavités (levé 3D) :

- Altitude du sol des cavités (9 planches) ;
- Altitude du toit des cavités (9 planches) ;
- Epaisseurs de recouvrement (9 planches) ;
- Hauteur de vide (9 planches).

1. Introduction

1.1. CONTEXTE GENERAL

La présente étude fait suite aux travaux réalisés par le BRGM en 2017 sur le territoire de la commune de Taillefontaine.

En janvier 2017, la Préfecture de l'Aisne a missionné le BRGM Direction Régionale Hauts-de-France pour réaliser un diagnostic de risques suite à la survenue d'un effondrement au droit de la route départementale RD 973 sur la commune de Taillefontaine. L'existence de cavités troglodytiques au droit de la zone d'effondrement, non recensées dans les bases de données du BRGM, avait alors été mise en cause.

Cette expertise avait également mis en évidence des lacunes d'information concernant l'existence, le nombre et l'état de cavités non répertoriées sur la commune, et sous-cavant des enjeux. Des indices d'instabilité pouvant compromettre la stabilité à long terme de certaines d'entre elles avaient été observées, notamment dans la carrière souterraine Rue de Compiègne (PICAW0020015) et la carrière souterraine présente dans le bourg du village (PICAW0020016), visitées dans le cadre de cette première étude.

Dans son rapport d'expertise, le BRGM recommandait, entre autre, de :

- Réaliser une étude approfondie de stabilité et d'emprise des carrières de la route de Compiègne et du bourg du village compte-tenu de leur état et en l'absence de cartographie précise, car elles sous-cavent des habitations ;
- Réaliser un inventaire communal des cavités souterraines sur la commune de Taillefontaine, ainsi qu'une carte d'aléa dans le but de limiter l'extension urbaine au droit d'anciennes cavités abandonnées.

1.2. OBJECTIFS DE LA PRESENTE ETUDE

Les objectifs initiaux de la présente étude étaient les suivants :

- Synthétiser les éléments disponibles afin de réaliser un inventaire le plus exhaustif possible des cavités présentes sur la commune de Taillefontaine. Mener à cette fin une enquête communale. A l'issue de cette étude, ajouter les nouvelles à la base de données du BRGM (BDCavité) ;
- Cartographier les cavités déjà inventoriées. Il s'agit ici d'effectuer un levé en 3D des quatre carrières identifiées par le BRGM dans son rapport de 2017. Apporter des informations précises telles que la géométrie des vides, leur emprise par rapport à la surface ainsi que l'épaisseur de recouvrement, indispensables pour la suite de l'étude ;
- Réaliser un diagnostic de stabilité des quatre carrières identifiées en 2017 (diagnostic de niveau 1 suivant le guide d'IFSTTAR, 2014). Cette reconnaissance approfondie de l'état des cavités nécessite un levé visuel de terrain. Une approche géotechnique est adoptée afin d'apprécier, entre autre, l'état de fracturation, la présence d'infiltration d'eau et la typologie des indices d'instabilités ;

- Etablir une carte d'aléa effondrement au droit des quatre carrières identifiées en 2017. Pour cela, l'aléa est évalué en croisant une probabilité d'occurrence avec une intensité attendue. La probabilité d'occurrence, correspondant à la prédisposition à la rupture, peut être approchée avec les visites effectuées dans le cadre du diagnostic géotechnique. L'intensité, quant à elle, peut être approchée avec les éventuels désordres connus en surface et une estimation du diamètre de l'effondrement attendu ;
- Effectuer des recommandations sur les zones d'aléa, notamment en termes de surveillance en souterrain mais aussi en termes de gestion de l'aménagement en surface.

En cours de projet, à la demande de la mairie, les objectifs suivants ont été ajoutés :

- Cartographier en 3D l'ensemble des cavités accessibles mises en évidence par l'enquête bibliographique (soit sept cavités supplémentaires).

2. Contexte géologique et historique

2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

La commune de Taillefontaine (département de l'Aisne) se situe dans le Soissonnais-Valois, à 30 km au Sud-Ouest de la ville de Soissons. Le village est bâti à flanc de vallon (jusqu'à une altitude d'environ 130 m NGF), au bas duquel s'écoule le ru de Vandy (95 m NGF).

Taillefontaine est concernée par les cartes géologiques 1/50 000 d'Attichy n°105 et de Villers-Cotterêts n°129 (Illustration 1). D'après ces cartes et les forages réalisés sur la zone d'étude décrits dans leurs notices, la succession des terrains est la suivante, du haut vers le bas de la pile sédimentaire :

- Fz. Alluvions modernes : tapissent les vallées de l'Aisne et de ses affluents. Les alluvions sont de texture limoneuse, plus ou moins calcaires avec des niveaux plus ou moins riches en matière organique ;
- LP. Limons loessiques : ils sont bien représentés sur les plateaux où leur épaisseur moyenne est de l'ordre de 5 m, mais ils peuvent dépasser localement 10 m ;
- e5c. Lutétien supérieur : est composé par les « Marnes et Caillasses » et par un Calcaire à Cérithes. Il se développe sur 15 m d'épaisseur au maximum. La formation des Marnes et Caillasses est constituée d'une série de bancs durs, siliceux, alternant avec des niveaux moins épais d'argiles et de marnes. Les bancs à Cérithes, bancs de calcaire dur, sont généralement bien cimentés et renferment de nombreux fossiles. L'assise de base du Lutétien supérieur est constituée d'un calcaire jaunâtre en gros bancs, fin, homogène et assez tendre ;
- e5b. Lutétien moyen : cet étage mesure entre 10 et 15 m d'épaisseur. La formation de « Calcaire grossier » forme l'ossature principale du plateau soissonnais avec le Lutétien supérieur. Il débute par un banc à mollusques de 1 à 2 m d'épaisseur puis est suivi d'un calcaire à Ditrupa, tendre de 4 à 5 m, d'un calcaire à Cérithium giganteum (Banc à vérens) de 3 à 4 m, d'un calcaire à Orbitolites peu épais de 1 à 3 m et d'un calcaire à Miliolites de 1 à 3 m ;
- e5a. Lutétien inférieur : les assises supérieures du Lutétien inférieur sont formées par un calcaire appelé « pierre à Liards ». Au-dessous se place un calcaire sableux glauconieux de faciès détritique. L'ensemble de la formation varie de 6 à 15 m d'épaisseur ;
- e4b. Yprésien supérieur, faciès Cuisien : il s'agit ici de l'« Argile de Laon » dont l'épaisseur est de 3 m au maximum. Cette formation n'est pas présente partout. C'est une argile, assez sableuse, grise verdâtre ou noire à débris de végétaux, feuilletée, azoïque, peu épaisse (0,50 m en moyenne) ;
- e4a. Yprésien supérieur, faciès Cuisien : cet étage est représenté par les « Sables de Cuise », sables grisâtres, plus ou moins glauconieux, avec de minces passées ferrugineuses ou argileuses. Ils affleurent à flanc de coteau et leur épaisseur est comprise entre 50 et 70 m.

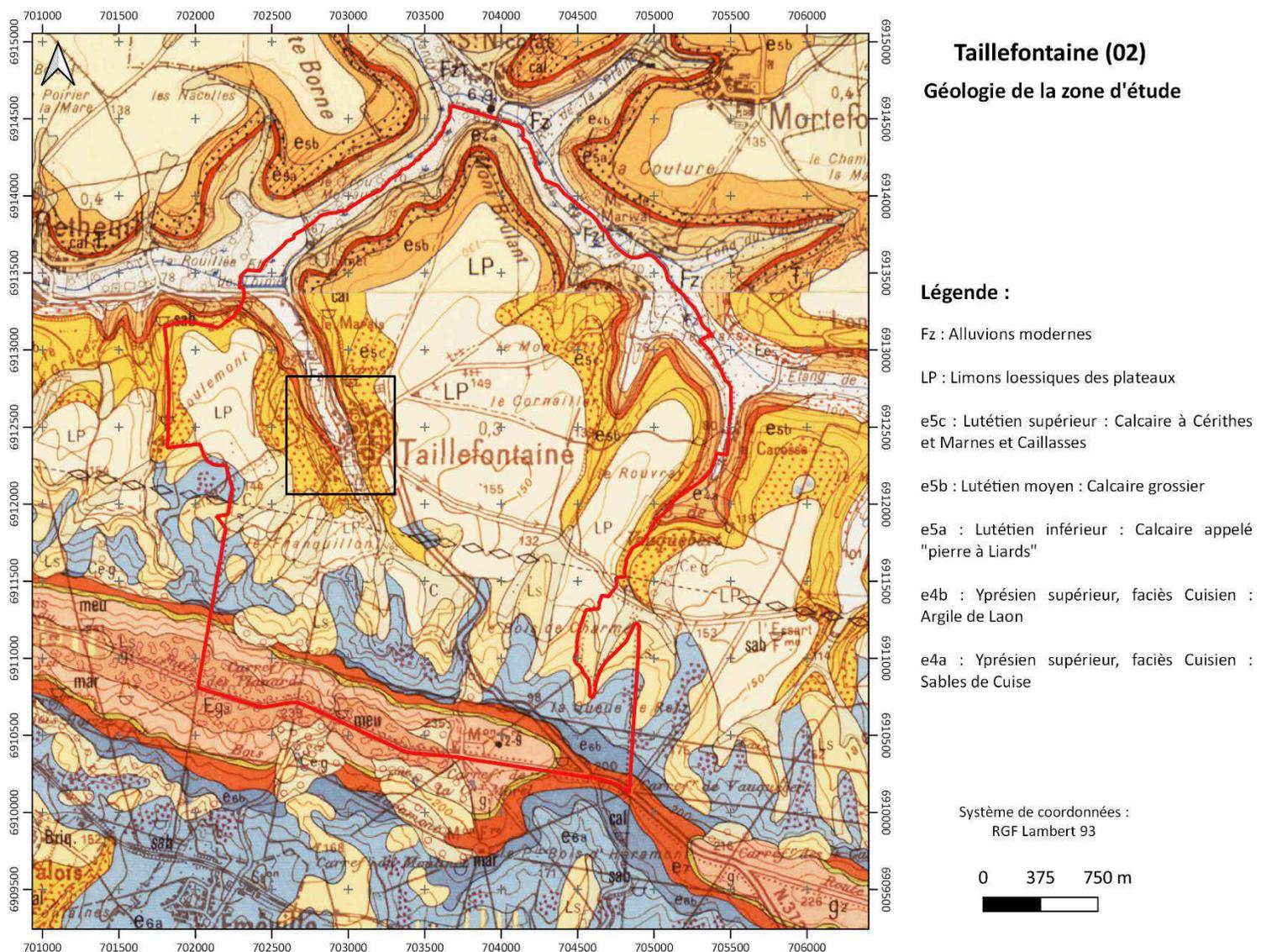


Illustration 1 – Extrait des cartes géologiques d'Attichy et de Villers-Cotterets sur la commune de Taillefontaine (© BRGM)

Cette coupe est globalement cohérente avec les terrains rencontrés dans le sondage BSS000JZPP, issu de la Banque de Données du Sous-sol (BSS), situé à 800 m au Sud du centre de la commune, à une altitude de 127,3 m NGF :

- Colluvions de fond de vallon jusqu'à 3,5 m de profondeur ;
- Calcaire du Lutétien de 3,5 à 24 m de profondeur ;
- Argile de Laon de 24 à 26 m de profondeur ;
- Sable de Cuise de 26 à 88 m de profondeur ;
- Argile et lignite du Sparnacien à partir de 88 m.

Deux formes de relief caractérisent le Soissonais : les plateaux calcaires, recouverts de limons, et les vallées qui les ont entaillés. Les formations calcaires du Lutétien peuvent atteindre une épaisseur d'une quarantaine de mètres. Elles sont présentes dans tout le centre du département de l'Aisne. Les calcaires grossiers lutétiens constituent une richesse importante de cette zone. De nombreuses carrières, anciennes et actuelles (Taillefontaine, Dampleux, Septmonts), témoignent de l'importance de ces pierres employées comme appareil dans les constructions.

2.2. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Les calcaires lutétiens peuvent être le siège de nappes perchées sur l'Argile de Laon. La nappe, libre, circule à travers un réseau de fissures affectant les bancs calcaires (karst¹) et dans les niveaux sableux. L'épaisseur de la zone non saturée passe de 25 à 10 m au centre des plateaux, où les cotes maximales dépassent 110 à 120 m NGF.

Dans l'Est du bassin parisien, les plateaux calcaires sont caractérisés par une karstification qui conditionne les infiltrations et les écoulements dans les aquifères. La karstification des calcaires lutétiens reste cependant relativement peu marquée à l'échelle de la région. Les calcaires du Lutétien présentent peu, voire pas de phénomènes karstiques de surface. Cependant, dans les carrières souterraines de Picardie, notamment du Soissonnais-Valois, des formes de paléokarst (fossilisées) et de fantômisiation (racines, tuyaux d'orgues, joints) calées sur la fracturation sont observées. Des formations argileuses, parfois ferrugineuses, marquent les discontinuités de l'encaissant (fissures et joints de stratifications). On parle ainsi davantage de formes endokarstiques² que d'exokarst³ (Devos et al., 2011) (Illustration 2).

Sur le territoire de Taillefontaine, on trouve quelques formes karstiques à l'intérieur de la carrière Rue de Compiègne (PICAW0020015). Le karst s'y manifeste sous forme de petits conduits, de diaclases ouvertes et remplies et d'infiltrations d'eau. Dans la partie Sud-Est de la carrière, on observe également un gouffre karstique, d'environ 1,6 m de diamètre, remontant de manière non linéaire dans les terrains de recouvrement. Plusieurs remontées de fontis ont été observées dans ce secteur (détails paragraphe 4.3.1. et en annexe 3).

¹ Le karst est un modelé superficiel et souterrain issu de la dissolution par l'eau des roches carbonatées (calcaires et dolomies), à l'échelle des temps géologiques. Il est à l'origine d'un paysage particulier et associé à un fonctionnement hydrogéologique spécifique.

² Les formes endokarstiques se développent à l'intérieur du massif rocheux karstifiable (conduits, vides, etc.).

³ A l'inverse, l'exokarst désigne les formes karstiques qui se développent à la surface du karst (dolines, pertes, entrées de grottes et de gouffres, etc.).

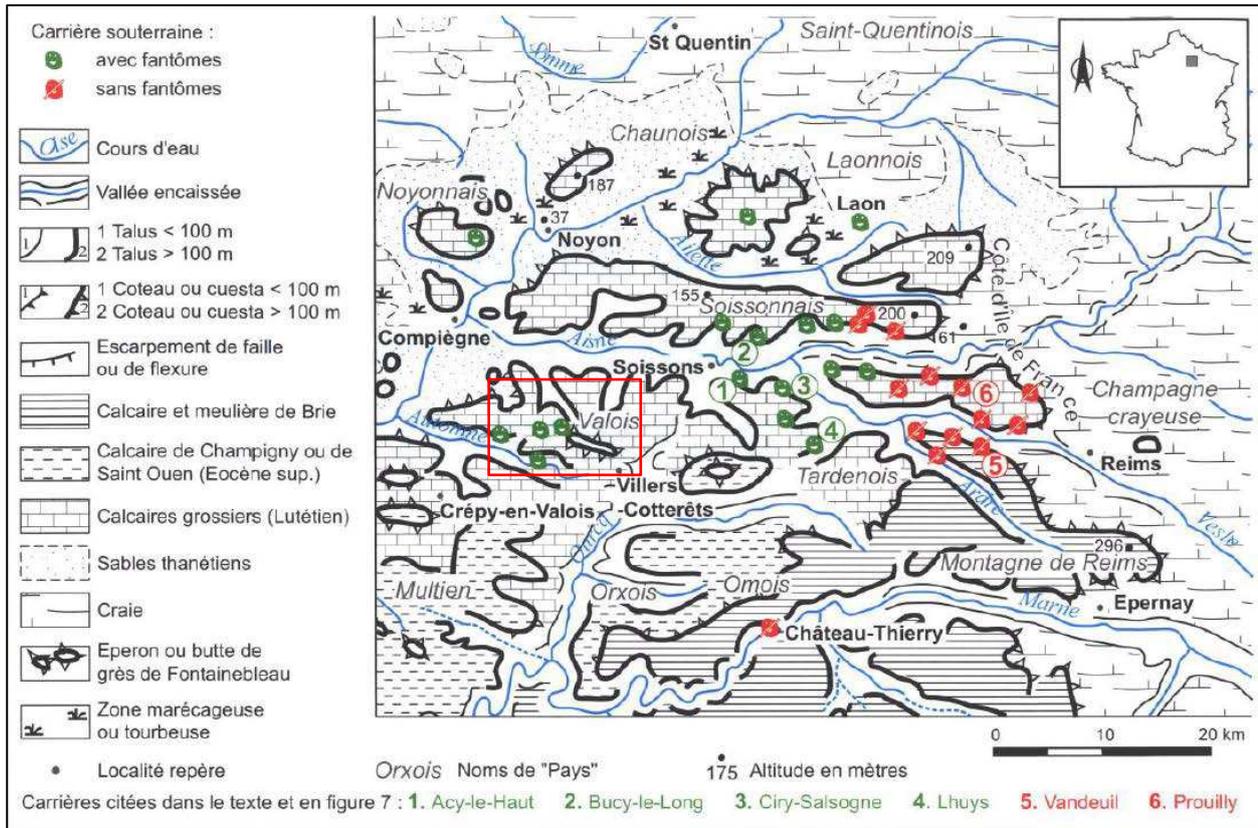


Illustration 2 – Localisation des carrières souterraines, affectées ou non par la fantomisation (extraite de Devos et al., 2011)

2.3. GENERALITES CONCERNANT LES EXPLOITATIONS SOUTERRAINES

L'exploitation des calcaires lutétiens

A l'échelle du Bassin de Paris, les formations calcaires du Lutétien constituent un excellent matériau de construction et sont exploitées en aérien et en souterrain depuis l'époque gauloise. Les exploitations ont souvent été pratiquées en « chambres et piliers »⁴ avec un accès en cavage (à flanc de coteaux) ou par puits (sur les plateaux). Cette technique d'exploitation est très répandue pour des carrières de pierres de taille et est notamment dépendante de la profondeur à laquelle se situe les terrains à exploiter et de la topographie.

Dans le département de l'Aisne, le terme de « creutes » est souvent utilisé pour désigner les carrières souterraines creusées dans les calcaires lutétiens. Les exploitations peuvent parfois être très étendues (jusqu'à 20 hectares) et très denses. On distingue deux zones dans le calcaire lutétien favorables à l'existence de cavités (BRGM/RR-38703-FR, 1996) :

- La zone où le calcaire affleure et où la topographie est favorable à son creusement. Elle correspond à l'affleurement du lutétien des vallées et à une extension d'environ 200 mètres sous le plateau qui correspond au développement moyen des carrières ;

⁴ La méthode d'exploitation en « chambres et piliers », ou des « piliers tournés », consiste à laisser régulièrement en place du matériau intact qui constitue des piliers naturels. Les salles d'exploitations sont appelées « chambres ». Les piliers peuvent être soit alignés, soit disposés de façon anarchique (sans organisation spécifique).

- La zone où le calcaire est présent en profondeur, mais où la topographie en permettant l'exploitation est moins favorable que dans l'exemple précédent. Il s'agit en particulier des zones de plateau.

Ces carrières souterraines ont très souvent eu des utilisations diverses au fil du temps : silos ou caves pour l'agriculture, abris militaires durant la première et la seconde guerre mondiale, ou encore champignonnières.

Les cavités souterraines de Taillefontaine

L'histoire de l'exploitation des cavités souterraines sur la commune de Taillefontaine est mal connue. D'après la notice de la carte géologique au 1/50 000 de Villers-Cotterêts, certaines carrières étaient toujours en activité en 1974.

Les carrières visitées à Taillefontaine dans le cadre de la présente étude présentent une altitude entre + 112 et + 120 m NGF au niveau des accès. Ces carrières ont exploité différents niveaux des calcaires lutétiens. Les visites de terrain n'ont pas cherché à préciser les bancs exploités. Il est cependant possible d'avoir une idée des bancs exploités dans les carrières de Taillefontaine grâce à des éléments de bibliographie :

- Les « *Calcaires à Cérithes et à Potamides du Lutétien supérieur* » : lors de son diagnostic de stabilité de la carrière PICAW0020017 (Chemin du Jeu d'Arc) en 1987 à Taillefontaine, Mouron R. (1987) indique que la cavité a été creusée dans « *un calcaire dur blanchâtre* » appartenant au Lutétien supérieur ;
- Les assises calcaires du Lutétien supérieur (voûte formée de bancs à Cérithes) : identifiées dans la carrière souterraine de Dampleux, située à environ 11 km au Sud-Est de Taillefontaine, ayant fait l'objet d'une analyse de stabilité en 1973 (Caous et al., 1973), Les communes se situant dans des contextes géologiques et géomorphologiques similaires, les cavités de Taillefontaine ont pu exploiter les mêmes bancs calcaires ;
- Le Calcaire grossier du Lutétien moyen : il s'agit du niveau qui a été le plus exploité pour la construction depuis le Moyen-Age, notamment en carrières souterraines en région parisienne et dans l'Aisne. Le Calcaire Grossier, notamment les bancs à Ditrupes et Milioles (friables) et les bancs à Cérithes, constitue une richesse importante du secteur.

Cette diversité pourrait expliquer la nature variée des cavités présentes sur la commune :

- Des carrières exploitées pour les pierres à bâtir (PICAW0020015, rue de Compiègne) ;
- Des « creutes », sortes de petites grottes/cavernes creusées dans les calcaires friables. Nombreuses d'entre elles servent aujourd'hui de garages ;
- Des habitations troglodytiques, désignées sous l'appellation de « troènes » (cavité à l'origine de l'effondrement au droit la RD 973 en 2017).

• Caractéristiques mécaniques des matériaux exploités

Les caractéristiques mécaniques des matériaux exploités à Taillefontaine ne sont pas connues de manière fiable. D'après les éléments recueillis, aucun essai en laboratoire sur les calcaires de Taillefontaine n'est en effet disponible. Cependant, leurs propriétés pourraient être approchées à partir des résultats d'essais réalisés sur des matériaux similaires prélevés dans des carrières proches (Tableau 1).

Commune	Localisation par rapport à Taillefontaine	Matériaux exploités	Masse volumique apparente (kg/m ³) / Densité des matériaux de recouvrement	Résistance à la compression (Rc) / Résistance ultime (Ru)	Contrainte verticale théorique
Bonneuil-en-Valois (60)	5 km au Sud-Ouest	Calcaire grossier du Lutétien moyen	Banc Franc : 1 593-1 774 kg/m ³ (Noël, 1970 - Pierre de Bouloye ; Gargi et al., 1998)	Banc Franc : 12,5 MPa (Gargi et al., 1998)	-
Dampleux (02)	Environ 10 km au Sud-Est (4 km au Sud-Est de Villers-Cotterêts)	Calcaires du Lutétien supérieur	1,75	Banc inférieur : « Dans l'analyse de stabilité, la valeur pessimiste de Rc = 36 bar sera retenue »	-
Noyant-et-Aconin (02)	22 km à l'Est (moins de 5 km au Sud de Soissons)	Calcaies lutétiens	2 000 kg/m ³	Rc = 5 MPa Ru = 2,24 MPa (INERIS, 1994)	1,25 MPa

Tableau 1 – Résultats des essais en laboratoire réalisés sur des échantillons prélevés dans des carrières dans un contexte similaire à Taillefontaine)

Dans la suite de l'étude, les valeurs suivantes ont été utilisées pour l'évaluation de la stabilité des piliers (par exemple, pour la carrière 7 ; détails en annexe 2) :

- Une densité moyenne de 1,7 a été retenue pour les matériaux de recouvrement. Les bancs exploités n'ayant pas pu être identifiés avec certitude, il n'est à ce stade pas possible de préciser si cette valeur inclut ou non les calcaires du toit ;
- Une résistance à la compression simple, la plus sécuritaire (et donc la plus pessimiste), de 3,6 MPa a été retenue pour le calcaire.

Ces hypothèses de travail sont reprises au paragraphe 4.2.3. et détaillées en annexe 2.

3. Collecte documentaire et inventaire des cavités

3.1. ETAT DES CONNAISSANCES EN AMONT DE L'ETUDE

Plusieurs opérations d'inventaire ont été réalisées par le BRGM afin de recenser les cavités souterraines et les mouvements de terrain dans le département de l'Aisne :

- Inventaires dans le département de l'Aisne : des dangers liés aux cavités souterraines (RR-38703-FR, 1996), des mouvements de terrain (RP-59179-FR, 2010), des cavités (hors-mines) (RP-62183-FR, 2013) ;
- Bases de données nationale : sur les cavités (BD Cavité) et sur les mouvements de terrain (BD MVT, www.georisques.gouv.fr).

Lors de la réalisation de ces inventaires départementaux en 1996, 2010 et 2013, le BRGM a consulté les archives, documents et organismes suivants :

- Archives et enquêtes départementales, préfectorales et communales ;
- Cartes topographiques IGN au 1/25 000 ;
- Archives BRGM (S.G.R. Picardie, bibliothèque centrale, cartes géologiques au 1/50 000, Banque de Données du Sous-sol (BSS)) ;
- CETE, DREAL, INRAP, INERIS, ONF, RFF, SNCF, SANEF ;
- Préfecture de l'Aisne, DDE/DDT de l'Aisne, Conseil général de l'Aisne, Chambre d'agriculture, DRIRE/DREAL Picardie, gendarmerie, syndicats de bassins, associations de spéléologie ;
- Archives de la défense, archives militaires britanniques, Journaux des Missions et Opérations des régiments ayant combattu lors de la guerre 14-18 ;
- Ouvrages et périodiques traitant de la guerre, de l'architecture, de la géologie ou des paysages, mémoires universitaires des UFR de géographies de Reims et Amiens ;
- Articles de presse (Courrier picard, Aisne Nouvelle, l'Union).

3.1.1. Etat des connaissances avant 2016

Dans le cadre des inventaires départementaux cités ci-dessus, quatre cavités souterraines ont été inventoriées sur la commune de Taillefontaine :

- Trois carrières : PICA0020015 (Rue de Compiègne), PICA0020016 (Rue d'En Haut) et PICA0020017 (Chemin du Jeu d'Arc). Le BRGM est par ailleurs intervenu en 1987 pour effectuer un examen visuel de la carrière PICA0020017 du chemin du Jeu d'Arc (Mouron R., 1987 – PIC 87/38) ;
- Une cavité d'origine indéterminée : PICA0018797. Il s'agirait d'une cavité creusée dans un Calcaire Grossier à Ditrupes (Lutétien).

Un mouvement de terrain de type affaissement a été recensé (Id. 60200326) en lien avec la cavité PICA0018797 (Illustration 4, paragraphe 3.2.1.). Cet affaissement est survenu sur la RD 973, dans la traversée du village. Sa localisation précise et sa date d'occurrence ne sont pas connues.

Un seul plan des cavités présentes sur le territoire de la commune de Taillefontaine était disponible avant la présente étude. Il s'agit d'un plan topographique de la carrière PICA0020017 du chemin du Jeu d'Arc, levé par un cabinet de géomètres en 1987 dans le cadre de l'étude de stabilité effectuée par le BRGM (Mouron R., 1987 – Note PIC 87/38) (Illustration 3). Les observations, réalisées le 21 mai 1987, mettaient alors en évidence :

- En surface : « *Aucune fissure n'est visible [sur la maison] et on ne relève pas trace d'anciens travaux de confortement. [...] aucun rejet [d'eau] n'est donc effectué dans la carrière* » ;
- En souterrain (Illustration 3) : « *Au toit, aucun décollement de blocs n'est visible (ancien ou récent) [...]. Quelques fissures sont visibles, principalement à l'aplomb de la maison : fissure géologique de direction N 45° E, ouverte d'environ 5 mm, recoupée par des fissures mécaniques (cette fissure affecte également les piédroits). La hauteur de la carrière a été mesurée à divers endroits : elle varie de 3,20 m à l'entrée à 3,56-3,75 m dans le fond. Le sol est constitué de remblais d'épaisseur inconnue. Sur les parois on distingue nettement 2 bancs de calcaire massif (un de 1,50 m à la base surmonté d'un second de 2,20 m environ, séparé du précédent par un mince lit marneux de l'ordre du cm). [...] Il est à noter que cette zone [l'entrée] paraît plus fragile [...]. [...] aucune chute ne s'est jamais produite (cela confirme d'ailleurs l'état du toit)* ».

A l'issue de ce diagnostic, le BRGM recommandait « *de surveiller périodiquement l'état du toit et de faire intervenir un bureau d'études spécialisé si des fissures nouvelles apparaissaient ou si l'on observait des chutes de blocs* ».

Depuis cette date et jusqu'à la présente étude, le BRGM n'a pas disposé d'information particulière sur les éventuelles évolutions de la carrière PICA0020017 du chemin du Jeu d'Arc. La présente étude s'y intéresse à nouveau (paragraphe 4.3.3.).

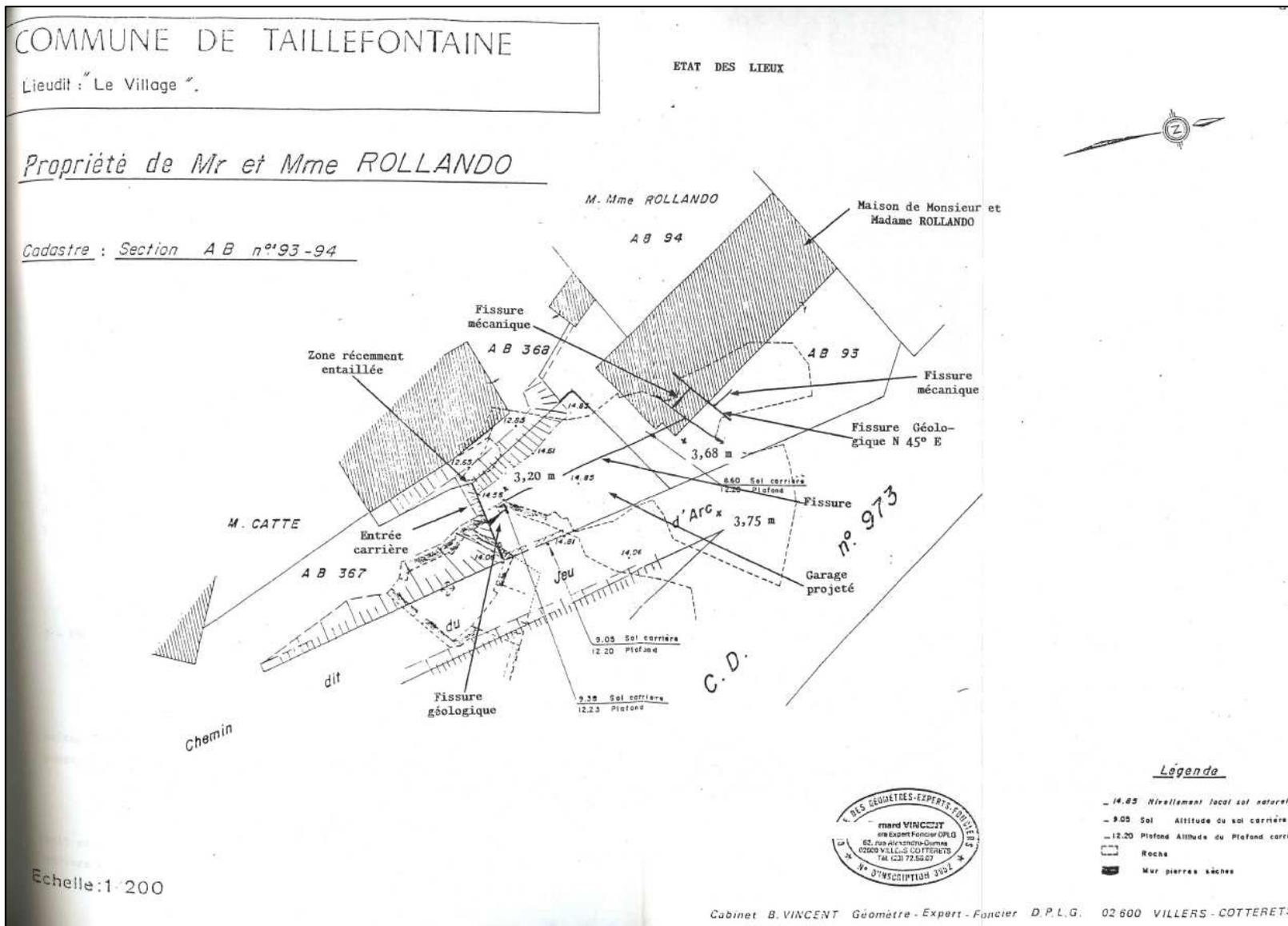


Illustration 3 – Observations réalisées en souterrain au niveau de la cavité PICAW0020017 (Extrait de la note technique de Mouron R., 1987)

3.1.2. Rappel sur les travaux du BRGM réalisés à Taillefontaine en 2016 et 2017

2016/2017 – Expertise suite à la découverte d'une cavité (rapport RP-66778-FR)

Une fuite d'eau a été constatée sur le réseau d'eau potable de la commune en décembre 2016. Lors des réparations effectuées sur la canalisation endommagée, la Nantaise des Eaux a découvert une zone de vide au droit de la fuite.

Le BRGM a été sollicité par la Préfecture de l'Aisne le 23 janvier 2017 afin d'établir un diagnostic de risques suite à la découverte de cette cavité. Il existe en effet une ancienne habitation troglodytique dont l'emprise semble débiter entre les parcelles 465 et 466 et le trottoir de la D973 et se diriger vers la route départementale. Cette cavité n'était pas recensée dans la base de données sur les cavités souterraines (BD Cavité) (cavité 2, Illustration 4).

Lors de cette expertise, les services de la mairie ont indiqué au BRGM l'existence de plusieurs autres cavités le long de la RD 973. Ces cavités ont pu être visitées mais deux d'entre elles n'avaient pas fait l'objet d'une saisie dans les bases de données :

- Une cavité de type habitation troglodytique (cavité 1, Illustration 4) ;
- Un caveau appartenant à la mairie (cavité 3, Illustration 4).

Au total, cinq cavités ont été, en tout ou partie, visitées entre février et mars 2017 (PICAW0020015, PICAW0020016, PICAW0020017 et cavités 1 et 3, Illustration 4). Plusieurs signes d'instabilités y ont été constatés (chutes de toit, piliers fracturés) avec des enjeux parfois forts en surface (route départementale, habitations).

A la lumière de ces observations, le BRGM recommandait, entre autres, la réalisation de :

- Une étude de stabilité et d'emprise sur les carrières PICAW0020015 et PICAW0020016 ;
- Un inventaire communal des cavités souterraines puis une carte d'aléa effondrement ;
- Une étude de recherche de cavités sous la RD 973 par microgravimétrie.

2017 – Investigations microgravimétriques sur la RD 973 (rapport RP-66977-FR)

Suite à la découverte d'une cavité au droit de la route de Compiègne (RD 973) en février 2017, le BRGM a été sollicité par la Direction de la voirie départementale de l'Aisne en juin 2017 pour détecter la présence d'éventuelles autres cavités sur une section de cette route. Une campagne de reconnaissance géophysique par microgravimétrie a alors été menée afin de détecter la présence d'éventuelles anomalies liées à des cavités.

Une anomalie (anomalie de masse négative), avec une emprise importante et centrale sur le secteur d'étude, a été décelée, pouvant correspondre notamment à des cavités (vides, ennoyées ou partiellement remblayées). L'anomalie en question est traversante à la RD 973 au Nord de la zone d'étude et cantonnée au bord Ouest de la route au Sud (Illustration 5). Son apex se situe à proximité de la zone de tranchée qui a mené à la découverte de la cavité en février 2017.

Sur la base de ces résultats, le BRGM préconisait d'effectuer cinq sondages de reconnaissance jusqu'à une profondeur de 10 m pour lever les ambiguïtés d'interprétation et contrôler la présence de vides (Illustration 5, paragraphe 3.2.1.).

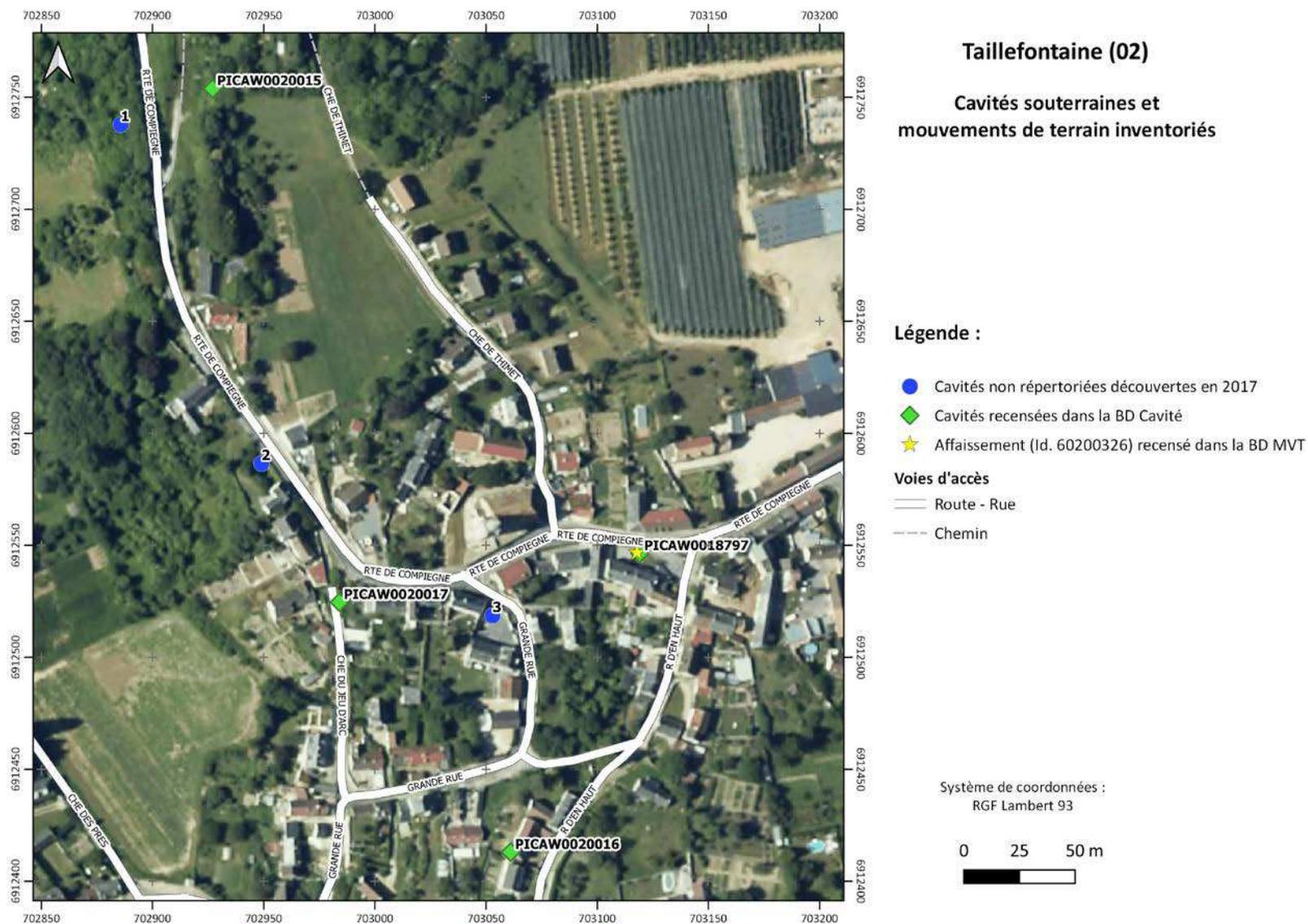


Illustration 4 – Cavités souterraines et mouvements de terrain répertoriés dans les bases de données et cavités découvertes en 2017

3.2. RECHERCHES COMPLEMENTAIRES

Les investigations du BRGM réalisés en 2017 ont révélé des lacunes d'information concernant les cavités souterraines présentes sur la commune et celles recensées dans les bases de données. Des recherches complémentaires ont été réalisées dans le cadre de la présente étude afin de combler ces lacunes.

3.2.1. Collecte des données disponibles

Sondages de reconnaissance et comblement de vides sous la RD 973

A la suite des interventions du BRGM sur la RD 973 en février et juin 2017 (expertise, microgravimétrie), des investigations et travaux complémentaires y ont été réalisés :

- Des sondages de reconnaissance, de type destructif (C.17.30 293, HydroGéotechnique) avec inspection par vidéo de vides en sous-sol, ont été réalisés en octobre 2017. Des zones de vides ont été identifiées en F1, F2 et F3 ainsi que des terrains décomprimés rencontrés en F1, F4 et F5 (Illustration 5) ;
- La cavité présente sous la RD 973 a fait l'objet d'un comblement.

Stabilité de la cavité située au 18 Grande Rue

En parallèle de la présente étude, la préfecture de l'Aisne a sollicité le BRGM en mai 2019 afin d'examiner la stabilité de la carrière sise sur la parcelle AB0371 (non prévu par l'étude en cours). Le compte-rendu d'intervention précise plusieurs points portant sur la cavité et son état :

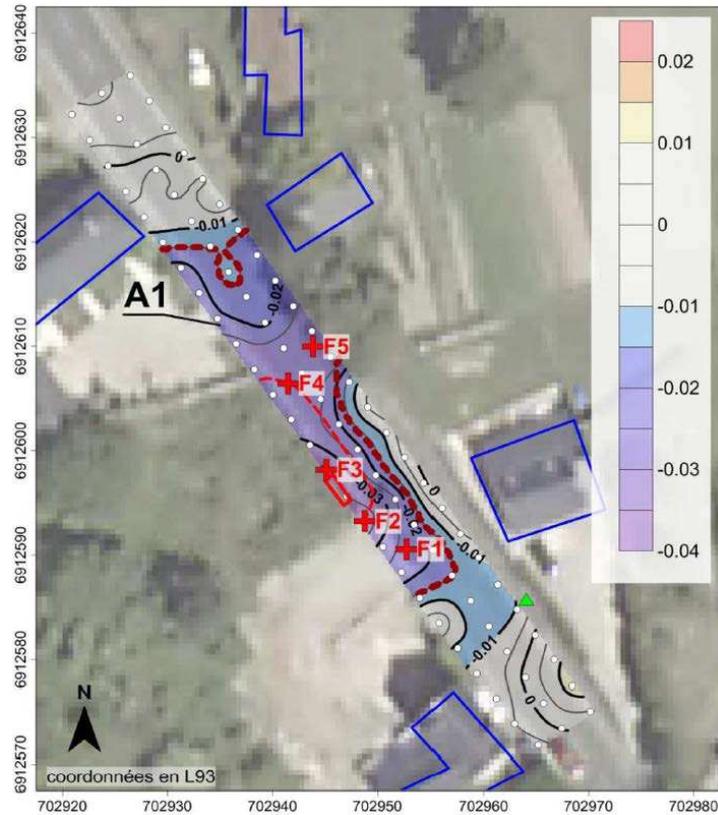
- La nature des matériaux exploités : calcaires grossiers du Lutétien inférieur ;
- Les instabilités observées : deux fractures de direction N120 fermées (pas actives), pas de trace de chute de blocs, ni d'infiltration d'eau ;
- La cavité présente une stabilité apparente plutôt bonne en l'état.

Carrières souterraines de Taillefontaine

Très peu de documents ont pu être collectés sur l'histoire des carrières de Taillefontaine.

L'ouvrage « Viollet-le-Duc et Pierrefonds » (2019) indique que les matériaux extraits de la carrière principale de Taillefontaine auraient servi à la construction du château de Pierrefonds vers 1863.

Aux archives départementales, seule une monographie de 1888 (archives en ligne) fait état d'une carrière exploitant potentiellement les calcaires lutétiens : « *Le massif de la montagne est formé de pierre tendre que l'on exploite de temps immémorial pour les constructions. Sur ce massif se trouve un banc de pierre dure avec laquelle on fait des marches, des dalles etc. Cette carrière, ouverte de 3 ans, a pris une certaine importance* ». Ainsi, une exploitation souterraine de calcaires lutétiens aurait débuté en 1885.



N° sondage	F1	F2	F3	F4	F5
Terrain raide à très raide	De 0,00 à 3,10 De 5,30 à 10,00	De 0,00 à 2,90 De 5,00 à 10,00	De 0,00 à 3,70	De 0,00 à 7,70 De 7,90 à 10,00	De 0,00 à 8,00 De 8,40 à 10,00
Terrain décomprimé (remblai?)	De 4,40 à 5,30	/	/	De 7,70 à 7,90	De 8,00 à 8,40
Vide	De 3,10 à 4,40	De 2,90 à 5,00	De 2,70 à 5,40	/	/

Illustration 5 – Localisation des sondages préconisés par le BRGM en juin 2017 (Jacob et al., 2017, BRGM/RP-66977-FR) et profondeurs des terrains décomprimés et zones de vides identifiés lors de la campagne de forages réalisée en octobre 2017 (extrait du rapport Hydrogéotechnique, 2017)

3.2.2. Enquête communale

Pour compléter la consultation d'archives et d'ouvrages, une enquête communale a été menée auprès des habitants et de la mairie. De nouvelles informations ont été apportées par différents témoignages.

Fiches à renseigner par les riverains et collecte des réponses

Des fiches ont été remises aux habitants de Taillefontaine afin de recueillir des informations concernant la présence de cavités souterraines sur la commune. En particulier, cette démarche avait pour objectifs de connaître la localisation et l'emprise des cavités (courrier de la Mairie et exemple de fiche en Annexe 1).

La collecte des fiches ainsi que la digitalisation des réponses ont été réalisées en collaboration avec la mairie de Taillefontaine. Au total, 29 fiches ont été renseignées.

Une réunion a également été organisée entre le BRGM, les services de la mairie et les riverains au sujet de la cartographie des cavités souterraines.

Microgravimétrie et sondages de reconnaissances Chemin de Thimet

L'enquête communale a par ailleurs permis la consultation de deux études géotechniques (mission G5 au sens de la norme NF-P 94-500), réalisées en 2013 et 2014 par Fondasol, suite à la demande d'un particulier concernant la recherche de cavités souterraines sur ses parcelles (Chemin de Thimet ; parcelles AB0471, AB0472 et AB0473).

A ce stade des investigations, l'existence d'une carrière souterraine à proximité était connue (PICAW0020015) mais son emprise exacte n'était pas définie. Les particuliers souhaitaient savoir si les vides se propageaient jusque sous leurs propriétés.

Dans un premier temps, une prospection géophysique de type microgravimétrique a été réalisée en 2013 (EGM.13.050) afin de déceler des anomalies de masse en lien éventuel avec l'existence de vides souterrains sur les différentes parcelles. Trois anomalies, attribuées à la présence de cavités dans le rapport, ont été détectées (de la plus à la moins marquée) (Illustration 6) :

- Une première anomalie (A) dans l'angle Sud-Ouest de la parcelle 472, à proximité d'une tête de puits donnant accès la carrière souterraine citée précédemment ;
- Une deuxième anomalie (B) au niveau du coin Nord-Est de la parcelle 473 ;
- Une dernière anomalie (C) sur la partie Sud-Est de la parcelle 471.

Dans un second temps, une série de forages destructifs a été réalisée en 2014 (MR.14-0132) afin de vérifier la présence ou non de vides dans les zones où des anomalies ont précédemment été détectées. A cette époque, la parcelle 473 ayant été vendue, les sondages de contrôle ont seulement été réalisés au droit des anomalies des parcelles 471 et 472 :

- Des vides (ou zones décomprimées) ont été rencontrées dans la plupart des sondages (Illustration 6) ;
- Sur la parcelle 472, l'anomalie principale, identifiée en R1 à R7 (R5 exclu), est attribuée à la carrière PICAW0020015 avec des vides décelés entre 8 et 16 m de profondeur ;
- Sur la parcelle 471, l'anomalie a été identifiée en R8 à R14 (R13 exclu) sous forme de zones décomprimées de faible hauteur (environ 1 m) ou de zones de vides à partir de 14 m de profondeur (hauteur >1 m), comme en R8 et R11, attribuée à une galerie souterraine.

Par ailleurs, il est à noter que les données parcellaires utilisées dans le cadre de l'étude ne font pas apparaître la construction présente sur la parcelle AB0473 (données antérieures à la construction). La maison d'habitation a donc été ajoutée « à la main » au cadastre de l'étude mais demanderait un calage par un géomètre (la construction existe cependant au cadastre actuel).

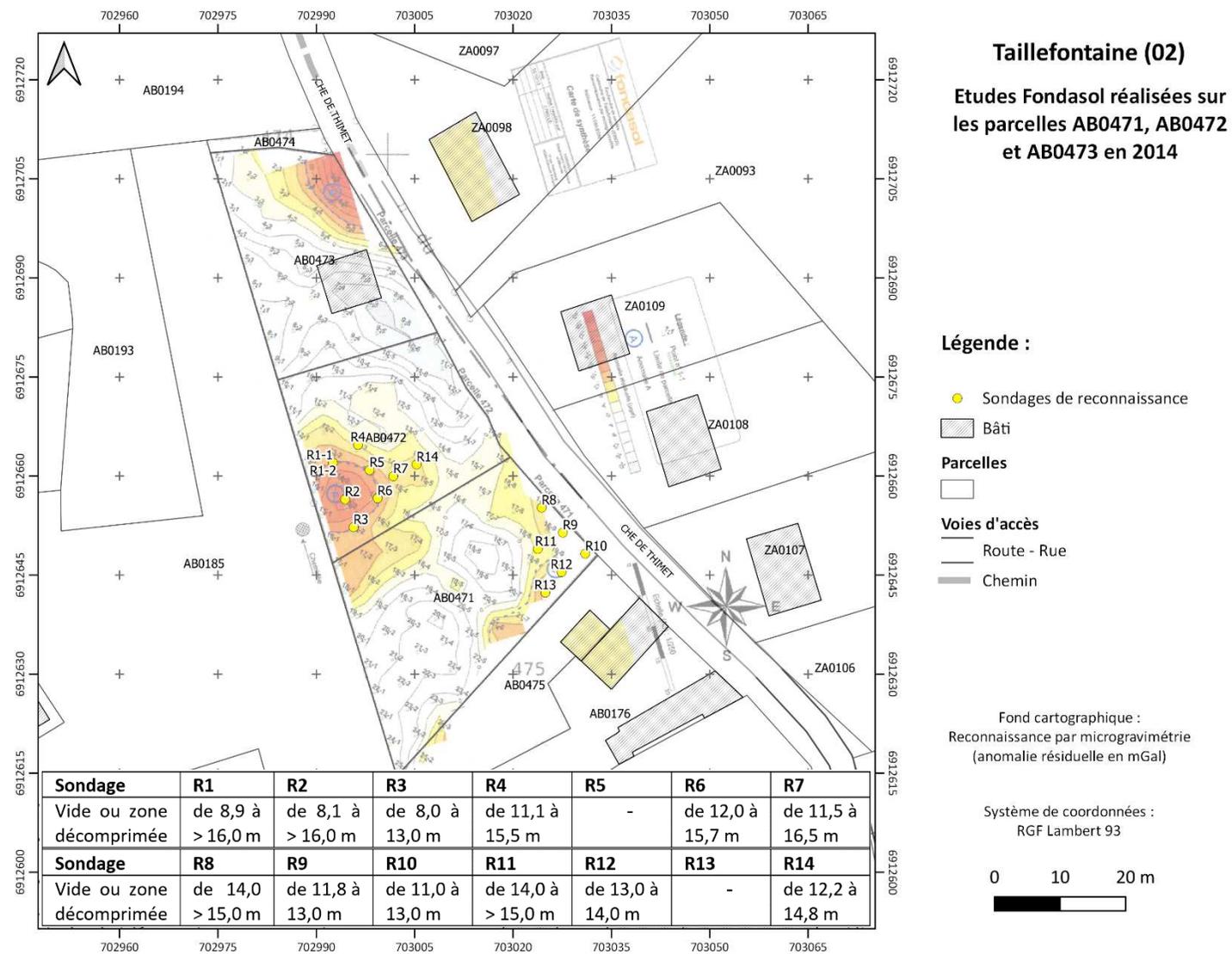


Illustration 6 – Résultats de l'étude microgravimétrique et des sondages de contrôle réalisés par Fondasol en 2014 sur les parcelles AB0471, AB0472 et AB0473 (tableau des résultats de sondages au bas de la carte)

3.3. SYNTHÈSE : INVENTAIRE DES CAVITÉS A FIN 2020

Cette première phase documentaire a permis au BRGM de répertorier 17 nouvelles cavités (Tableau 2, Illustration 7) sur le territoire de Taillefontaine.

A l'issue de cette étude, la base de données nationale des cavités (BDCavité), hébergée par le BRGM, fera l'objet d'une mise à jour. Les nouvelles cavités recensées sur le territoire de la commune de Taillefontaine seront saisies dans la BDCavité.

3.4. SINISTRALITE

A l'issue de cet inventaire, il ressort également l'existence de plusieurs mouvements de terrains survenus sur la commune de Taillefontaine. Ces phénomènes sont de deux types : affaissements ou effondrements de terrain. Ainsi, on recense :

- Un affaissement de terrain répertorié dans la BDMVT (Id. 60200326). Aucun élément ne permet de donner des précisions sur sa date d'occurrence ou ses dimensions. Il est toutefois associé à une cavité recensée dans la BDCavité (PICAW0018797), d'origine indéterminée ;
- Trois effondrements de terrain, tous non répertoriés dans les bases de données et survenus dans la partie Nord de la commune :
 - Le premier phénomène est survenu à la suite d'une fuite d'eau route de Compiègne. Une expertise a été réalisée par le BRGM en 2017 mettant en évidence un lien entre l'effondrement et la présence d'une ancienne habitation troglodytique dont l'entrée avait fait l'objet d'un terrassement mais qui n'avait pas été remblayée ;
 - Les deux autres phénomènes se situent au Nord de la carrière n°7. Il s'agit d'un fontis de faible ampleur de 0,3 m de diamètre et d'un effondrement plus ancien, comblé, de 10 m de diamètre. Ces deux phénomènes sont en lien avec une déstabilisation de la cavité n°7.

On notera que ces mouvements de terrains ont pour origine la déstabilisation de cavités sous-jacentes.

Cavité (n°fiche)	Mouvements de terrain associés	Indice BD Cavité préexistant*	Indice BD MVT	Adresse (accès)	Parcelles au moins en partie sous-cavées	Type	Surface (m2)	Cavité cartographiée par le BRGM	Cavité ayant fait l'objet d'un diagnostic de niveau 1	Source des données	Commentaires
1	-	-	-	-	ZH0009, AB0189, RD 973	Habitation troglodyte	200	Oui	Oui	Témoignages, Visite	En grande partie sous la RD973, Intervention du BRGM en 2017 (rapport RP-66778-FR)
2	-	-	-	46 route de Compiègne	AB0465	Cave (sous maison)	-	Oui	Non	Témoignages, Visite	-
3	-	-	-	44 route de Compiègne	AB0092	Carrière (cave)	-	Oui	Non	Témoignages, Visite	-
4-5-15	-	PICAW0020017	-	4-6 chemin du Jeu d'Arc	AB0093, AB0167-168-169, AB0367-368, RD 973, Chemin du Jeu d'Arc	Carrière (réseau de 3 caves)	850	Oui	Oui	Témoignages, Archive, Visite	Plusieurs caves, en partie sous habitations et rues, entrées en cavage (et puits), Intervention du BRGM en 1987 (note 87-PIC-038 - examen visuel de la stabilité de la carrière, Mouron R.), Intervention du BRGM en 2017 (rapport RP-66778-FR)
6	-	-	-	6 chemin du Jeu d'Arc	AB0093	Cave	-	Non	Non	Témoignages	-
7	Fontis en surface parcelle AB197	PICAW0020015	-	13 route de Compiègne (entrée principale, entrée en cavage)	AB0184 à 187, AB0192 à 197, AB0362, AB0471 à 474, ZA0001 à 05, ZA0095 à 98, Chemin de Thimet	Carrière (chambres et piliers)	17 200	Oui	Oui	Témoignages, Archives, Visites	Principale carrière de Taillefontaine, Etudes FONDASOL en 2013-2014 (microgravimétrie EGM.13.050, sondages MR.14-0132), Intervention du BRGM en 2017 (rapport RP-66778-FR)
8(a-b-c)	-	-	-	En face du 48 route de Compiègne	AB0185-186	Cave (en partie sous maison)	-	Oui	Non	Témoignages, Visites	8a sous la maison, 8b-8c accès via portes métalliques dans mur maçonné
9	-	-	-	Chemin de Thimet	ZA0093-97-98	Carrière	-	Oui	Partiel	Témoignages, Visite	Vergers/pâtures
10	-	-	-	Chemin de Bonneuil ?	AB0005-336	Souterrain ?	-	Non	Non	Témoignage	Passage qui serait inconnu des propriétaires actuels
12	-	-	-	7 route de Compiègne ? Eglise ?	AB0174-180-395	Souterrain ?	-	Non	Non	Témoignage, Archive	Ouvrage "Architectures rurales en Picardie : le Soissonnais", Rolland D. (1998) : "des petits souterrains sont visibles sous l'église"
18(a-b-c-d)	-	-	-	10-12-14 Grande rue	AB0129-134-371-386-371	"Creutes"	-	Oui	Non	Témoignages, Visite	-
19	-	-	-	32-34 route de Compiègne / Grande rue	AB0053-55-57	Indéterminé ?	-	Oui	Partiel	Témoignages, Visite	-
23	-	PICAW0020016	-	-	AB0136-137-138, AB0143-144, AB0236 à 239, AB0243, AB0469-470, rue d'En Haut	Carrière (1 niveau)	2 800	Oui	Oui	Témoignages, Archive, Visite	Entrées en cavage (derrière poteau, intersection rue d'En Haut/Grande rue et 9 rue d'En Haut ?) et puits (AB0243), Intervention du BRGM en 2017 (rapport RP-66778-FR)
24	-	-	-	4 rue d'En Haut	AB0488-417 ?		-	Non	Non	Témoignage	Porte en bois visible au bas du bâtiment parcelle AB0488 + escaliers et voûte visible sur parcelle AB0417
28(a-b)	Talus surplombant la cavité déstabilisé	-	-	18 Grande rue	AB0371	"Creutes"	-	Oui	Partiel	Témoignage, Visite	Intervention du BRGM en 2019 (compte-rendu d'expertise)
29	-	-	-	En face du 15 Grande rue	AB0126	"Creutes"	-	Non	Non	Témoignage	2 portes en bois visibles en face du 15 Grande rue, a priori pas visitées
30	-	-	-	4 chemin des Ruelles	AB0294-295 ?		-	Non	Non	Témoignage	Entrée murée ? Tunnel ?
31	-	-	-	10 chemin des Ruelles	-	Creute	-	Non	Non	Témoignage	-
38	-	-	-	1 Grande rue (Ecole, Mairie)	AB0158, route de Compiègne, Grande rue	Cave (voutée)	-	Non	Non	Témoignages	Dans le hangar, à droite, descendre avec une échelle, sous la route (vers intersection route de Compiègne/Grande rue), Intervention du BRGM en 2017 (rapport RP-66778-FR)
39	Fuite d'eau (ruine cavité découverte 2017)	-	-	46 route de Compiègne	AB0465-66	Habitation troglodyte (reprofilage sans comblement des vides)	-	Non	Partiel	Témoignages, Archives, Visites	Intervention du BRGM en 2017 (rapport d'expertise RP-66778-FR, rapport microgravimétrie RP-66977-FR), Sondages Hydrogéotechnique en 2017 (C.17.30293)
-	Affaissement	PICAW0018797	60200326	?	?	Indéterminé	-	Non	Non	Archive	Pas connaissance sur site ?

*les cavités n'étant jusqu'alors pas présentes dans la BDCavité y seront ajoutés à l'issue de l'étude. Elles disposeront alors chacune d'un identifiant nominatif.

Tableau 2 – Cavités recensées sur la commune de Taillefontaine à l'issue de la phase documentaire (archives, enquête communale)

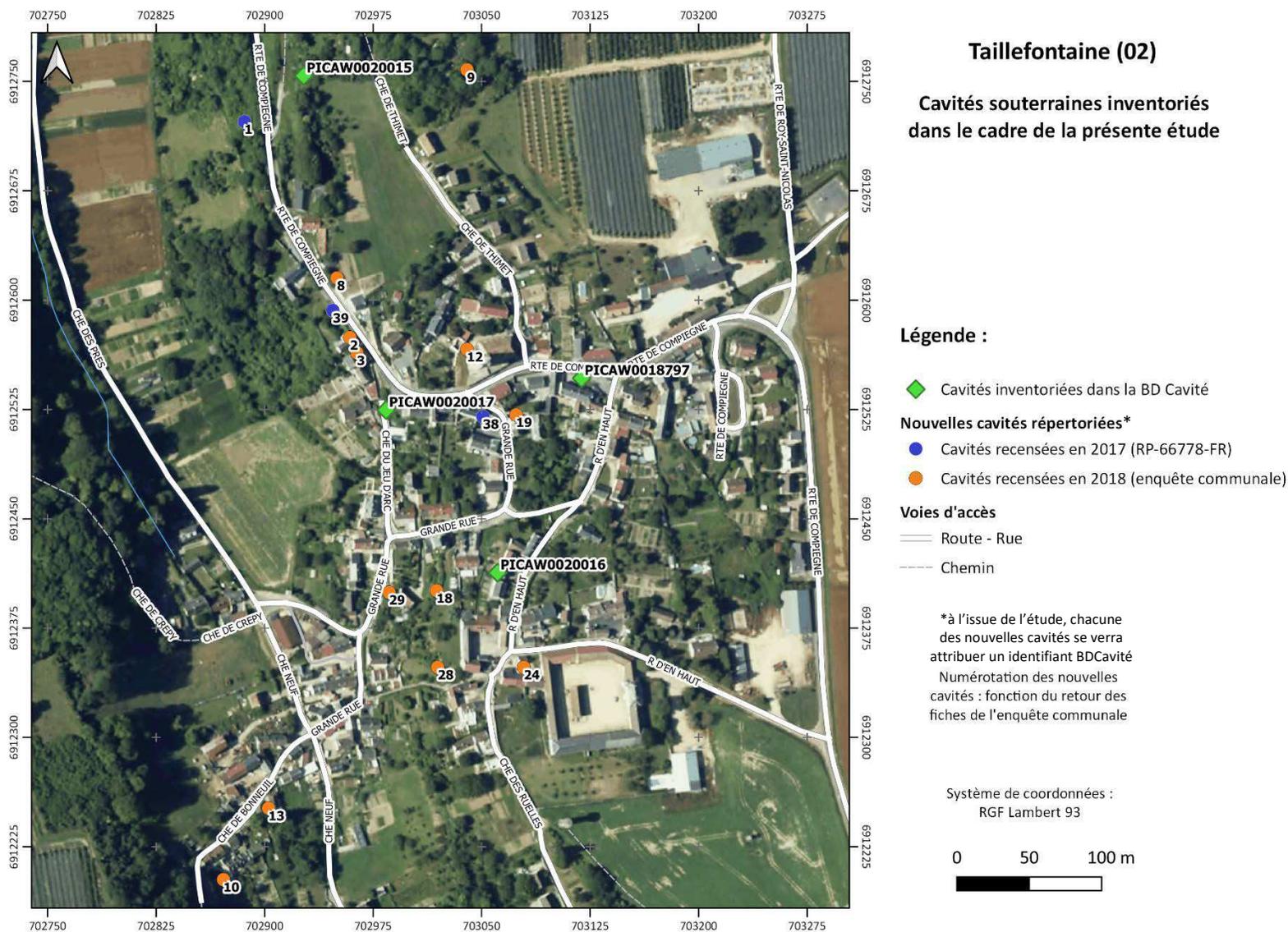


Illustration 7 – Nouvelles cavités répertoriées à l'issue de la phase documentaire (bibliographie, enquête communale)

4. Cartes informatives et évaluation des aléas

A l'exception de la carrière PICAW0020017 du chemin du Jeu d'Arc (paragraphe 3.1.1.), aucun descriptif complet relatif à la configuration actuelle des cavités (plan ou description détaillée) n'a été fourni au BRGM pour la présente étude. Une étude et un levé terrain ont donc été menés afin d'effectuer une cartographie précise de certaines des cavités présentes sur la commune.

4.1. LISTE DES CAVITES CARTOGRAPHIEES PAR LE BRGM

La convention prévoyait initialement un levé topographique des quatre cavités identifiées en 2017, ce qui a été réalisé (Illustration 8) :

- La grande carrière Rue de Compiègne (PICAW0020015) ;
- La carrière située rue d'En Haut (PICAW0020016) ;
- Une petite carrière située à l'intersection de la route de Compiègne et du Chemin du Jeu d'Arc (PICAW0020017) ;
- Et une cavité de type habitation troglodytique située sous la RD 973 au Nord de centre-bourg (cavité précédemment numérotée 1).

Comme prévu à la convention, ces quatre cavités ont fait l'objet de diagnostics de stabilité de niveau 1 et d'une cartographie d'aléa (paragraphe 4.3.) accompagnés d'une série de recommandations spécifiques (paragraphe 5.2.).

A la demande de la mairie de Taillefontaine, le BRGM a également cartographié sept autres cavités :

- Cavités n°2 et 3 route de Compiègne ;
- Cavité n°8 (a et b) route de Compiègne ;
- Cavité n°9 chemin de Thimet ;
- Cavité n°18 (regroupant plusieurs creuttes) Grande rue ;
- Cavité n°19 Grande rue (en face de la mairie) ;
- Cavité n°28 (a et b) Grande rue.

Ces sept cavités supplémentaires n'ont pas fait l'objet d'un diagnostic approfondi. Quelques éléments sont cependant fournis à titre indicatif au paragraphe 4.4.

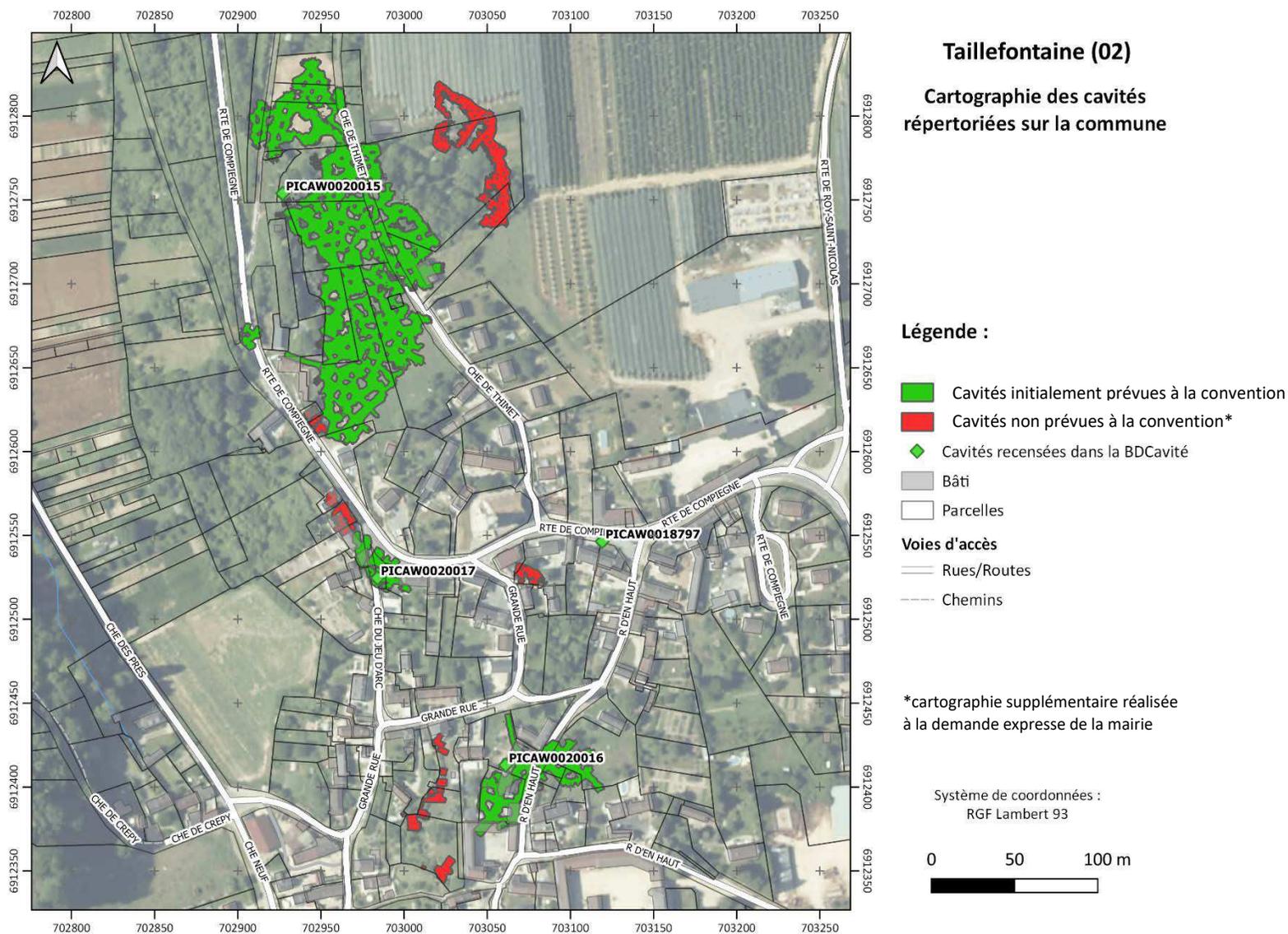


Illustration 8 – Cavités souterraines ayant fait l'objet d'une cartographie (levé 3D) sur la commune de Taillefontaine

4.2. METHODES MISES EN OEUVRE

4.2.1. Outils cartographiques

Le ZEB-REVO : un outil de cartographie 3D

Afin d'obtenir un levé topographique complet et précis, le BRGM a procédé à la réalisation d'un levé laser 3D dans l'ensemble des quatre carrières jugées prioritaires sur le territoire de la commune de Taillefontaine ainsi que sur sept autres cavités (voir aussi paragraphe 4.1.). Les levés des carrières ont été réalisés par deux agents du BRGM d'Orléans en février 2017 (partiellement sur la carrière PICAW0020015 et sur PICAW0020017) et février 2019 (sur l'ensemble des onze cavités). L'utilisation de ce matériel a été rendue possible par l'utilisation d'une méthode spécifiquement développée par le BRGM.

Le ZEB-REVO est un scanner mobile utilisé pour la numérisation 3D et commercialisé par la société GEOSLAM. Cet outil permet l'acquisition d'un nuage de points 3D de précision centimétrique dans un laps de temps court. Le nuage de points est géoréférencé *a posteriori*, ce qui permet d'obtenir une cartographie 2D de grande précision des cavités projetée sur un plan unique (Dewez, *et al.*, 2016).

L'utilisation de cette méthode a permis de cartographier les cavités en 2D les unes par rapport aux autres mais également par rapport aux enjeux présents en surface. La configuration des cavités (profondeur, hauteur et volume de vide, recouvrement) a également pu être acquise de manière très précise (se reporter aux planches hors-texte). Cependant, la dérive des mesures au cours du temps a pu être estimée à environ 0,5 m. Ainsi, une « double paroi » est parfois visible sur les figures présentes en annexes.

Cette méthode a par ailleurs permis de fournir des mesures précises en trois dimensions suite au post-traitement des mesures brutes.

Coupes 3D et cartes 2D

Les cartes présentées dans la suite du rapport se basent sur les levés 3D réalisés en 2019. Des coupes ont par ailleurs été réalisées dans certains secteurs sensibles des cavités visitées à partir du nuage de points 3D (données de février 2019).

4.2.2. Observations de terrain et cartes informatives

Les visites de terrain ont été réalisées en octobre 2019 par des agents BRGM de la Direction régionale Hauts-de-France de Lille et de la Délégation régionale Grand Est de Reims. Pendant ces visites, le BRGM a été accompagné par les services de la mairie. Au cours de ces visites, un examen visuel détaillé des piliers (état global) et du toit des cavités (fracturation) ainsi que des observations plus ponctuelles (présence de blocs au sol, de blocs menaçant au ciel, d'arrivées d'eau, etc.) ont été réalisés et consignés.

Les cartes « informatives » ainsi obtenues sont une représentation, à l'instant des visites, de l'état global des carrières. A l'avenir, ces cartes pourront servir de base à un suivi de leur état, dans le cadre par exemple de visites de contrôle ou d'études complémentaires (voir recommandations Chapitre 5).

Les diagnostics de stabilité des quatre cavités retenues pour la présente étude sont basés sur ces observations.

4.2.3. Diagnostic de stabilité des carrières souterraines

Principes généraux, références utilisées

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'aléa que représentent les carrières souterraines pour les terrains situés en surface. Il s'agit d'un diagnostic de niveau 1 (IFSTTAR, 2014).

La première étape du diagnostic consiste à passer en revue les différents phénomènes possibles et à retenir uniquement ceux susceptibles d'engendrer des désordres en surface. Etant donnée la configuration des cavités (en particulier leur faible profondeur) et en l'état actuel des connaissances, les phénomènes suivants ont été retenus :

- Au niveau des entrées : chute d'éléments rocheux et recul associé de la crête de coteau
La chute de pierres et de blocs, voire l'éboulement d'un volume plus important, au niveau des fronts de taille génère un aléa en contre-bas du front de taille (chute de pierres et de blocs), mais aussi en arrière (recul) ;
- En surface, à l'aplomb des travaux souterrains : effondrements localisés⁵ (fontis) liés aux processus suivants :
 - Remontée de fontis par rupture progressive du ciel de carrière, suivant, ou non, une rupture isolée de piliers ;
 - Remontée de fontis par déstabilisation de puits ;
 - Remontée de fontis par débouillage de poches de matériaux non rocheux (remplissage karstique, altérites, remblais).

Ces phénomènes se manifestent en surface par l'apparition soit d'un effondrement brutal localisé prenant la forme d'un entonnoir ou d'un cratère, soit d'un affaissement (déformation souple sans rupture et progressive de la surface du sol, se traduisant par une dépression topographique en forme de cuvette).

Le phénomène suivant n'est pas retenu : mouvement généralisé (effondrement ou affaissement) consécutif à la rupture simultanée de plusieurs piliers. D'après le guide IFSTTAR (2014), l'effondrement généralisé est susceptible de se produire en surface en présence « *d'un banc épais de résistance mécanique élevée* » au toit de la cavité. Auquel cas, il est dépendant de l'extension maximale de la carrière et de la hauteur de recouvrement. L'existence d'un banc raide au toit des carrières de Taillefontaine n'est pas connue. S'agissant d'un diagnostic de niveau 1, la résistance mécanique des bancs de toit n'a pas été testée en laboratoire.

La seconde étape a pour objectif de qualifier l'aléa retenu, à savoir ici l'effondrement localisé. Conformément aux recommandations du guide méthodologique PPRN (Plan de Prévention des Risques Naturels) cavités souterraines abandonnées (Ministère en charge de l'Environnement, 2012), la première phase de ce travail consiste en une évaluation de la prédisposition à la rupture sur les remontées de fontis possibles, en fonction des configurations géologiques et géométriques.

⁵ Le guide PPRM (Plan de Prévention des Risques Majeurs) définit l'effondrement localisé comme suit : « *un effondrement localisé se caractérise par l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont l'extension horizontale varie généralement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de diamètres. La profondeur du cratère dépend principalement de la profondeur et des dimensions des travaux souterrains. On parle de fontis lorsque l'instabilité qui affecte la surface résulte de la remontée progressive au jour d'une cheminée consécutivement à un éboulement initié au sein d'une excavation* » (GEODERIS, 2012).

Puis l'intensité attendue de l'évènement redouté est déterminé. Le niveau d'aléa est enfin évalué en croisant la prédisposition et l'intensité.

Evaluation des aléas - méthodologie employée

Les méthodes d'évaluation des aléas utilisées dans le cadre de cette étude, en particulier les parties calculatoires, les hypothèses retenues et les matrices de hiérarchisation, sont détaillées en annexe 2.

• Evaluation de la stabilité des piliers

Des calculs analytiques, à considérer ici comme des outils d'aide à la décision plutôt que comme des modélisations précises, sont utilisés afin d'analyser certains aspects de la stabilité.

S'agissant d'un diagnostic de niveau 1, basé sur une méthode dite « expert » et principalement sur l'observation, aucun échantillon n'a été prélevé en vue de réaliser des essais en laboratoire. Pour les besoins de l'étude, les valeurs utilisées dans les calculs sont issues de la bibliographie. Il s'agit des résultats d'essais en laboratoire d'études précédentes réalisées dans des contextes similaires (cf. § 2.3).

Cette analyse a été faite en considérant d'une part l'état des piliers et d'autre part en comparant, par le calcul, leur résistance théorique avec les sollicitations exercées :

- L'état des piliers a été caractérisé visuellement et à dire d'expert lors de la visite de la carrière. Les 4 états retenus sont les suivants, ils sont reportés pour chaque pilier dans la carte informative :
 - Sain : aucun désordre apparent constaté ;
 - Fracturé : quelques fractures (régionales notamment) ;
 - Précaire : nombreuses fractures dont certaines ouvertes de plusieurs dizaines de centimètres ;
 - Très précaire : très fracturé ou pilier en diablo (fracturation mécanique importante).
- Les piliers soutiennent les terrains de recouvrement qui exercent sur eux une certaine contrainte. Lorsque cette contrainte est supérieure à la résistance des piliers, ceux-ci finissent par rompre. Ici, la configuration irrégulière de la carrière et la faible épaisseur des terrains la recouvrant nécessiteraient de procéder à une modélisation approfondie de l'ensemble de la carrière, prenant en compte sa configuration en 3 dimensions et nécessitant des essais en laboratoire. La présente étude étant un diagnostic de niveau 1, un tel travail n'a pas été réalisé (mais il pourra si besoin l'être ultérieurement, dans le cadre d'un complément d'étude). Il a en revanche été choisi d'utiliser la méthode de l'aire tributaire de manière à fournir une première indication « calculatoire » sur la stabilité des piliers.

• Analyse de la stabilité du toit

La stabilité du toit de la carrière est estimée en considérant essentiellement les observations faites dans la carrière. Cette stabilité pourrait être vérifiée, et si besoin mise à jour, via des calculs, mais là encore (comme pour les piliers), cette démarche nécessiterait un travail approfondi de modélisation, non prévu dans le cadre de ce diagnostic de niveau 1.

Les zones du toit considérées comme instables pour la présente étude sont les suivantes :

- Zones où sont observées des montées de voûte (cloche de fontis) ;
- Zones où sont observées des configurations défavorables, pouvant être des précurseurs à des instabilités de toit : fracturation intense et croisée, portée importante, présence de conduits karstiques, etc.

Les dimensions de ces zones instables au toit de la carrière, et celles pouvant survenir à la surface du sol, sont évaluées à dire d'expert en fonction de l'ensemble des observations disponibles. Sont plus particulièrement pris en compte :

- La forme des voûtes observées au toit de la carrière : celles ayant pris une forme en coupole sont a priori plus stables que celles présentant une forme en emporte-pièce ;
- « L'activité » de ces zones, c'est-à-dire la présence ou non d'éléments a priori tombés récemment au sol et celle d'éléments visiblement instables au toit : plus il y a de tels signes instables, plus le toit est considéré comme sensible.
- L'épaisseur résiduelle des bancs rocheux recouvrant ces zones : plus celle-ci est faible, plus la rupture est susceptible d'atteindre les terrains non cohésifs recouvrant le substratum et donc de générer un mouvement de terrain à la surface.

Pour les cavités ici étudiées, les hauteurs de vide et les épaisseurs de terrain de recouvrement sont telles qu'il n'est pas possible que les éventuels effondrements survenant au fond puissent s'autocomblent avant d'atteindre la surface. Une probabilité qu'un tel mouvement s'arrête sur une dalle épaisse et résistante est toujours possible, mais elle n'est pas retenue ici. Autrement dit, si une instabilité se propage depuis le fond, elle est considérée pour cette étude comme pouvant atteindre la surface (hypothèse a priori pénalisante).

- **Influence de la présence de karst**

Les manifestations karstiques constituent un facteur aggravant au phénomène de remontée de fontis. La présence de conduits ou poches remplis de matériaux meubles n'est pas référencée dans les carrières de Taillefontaine. Un phénomène de débouillage de ces drains ne peut être appréhendé avec précision dans le cadre de cette étude.

Dans la grande carrière communale (PICAW0020015, cavité n°7), le karst se manifeste sous forme de grandes fractures ouvertes, affectant la stabilité des piliers et du toit, et d'une cheminée karstique vide. La présence de karst dans cette carrière joue un rôle de facteur aggravant dans le processus de remontée de fontis.

- **Risques associés à ces aléas – en surface**

Les désordres évoqués sont de nature à générer des risques aux biens et aux personnes dans les secteurs où ils se produisent :

- Chute de personnes, de véhicules, d'animaux, etc. dans les effondrements ;
- Ecrasement pour ce qui concerne la chute de pierres et de blocs au niveau des fronts de taille ;
- Désordres aux biens construits, pouvant aboutir, en fonction en particulier de leurs dimensions (diamètre, profondeur), à leur ruine à plus ou moins court terme.

- **Risques associés à ces aléas – au fond**

Même si la présente étude s'attache principalement, conformément à la Convention avec la commune de Taillefontaine, à fournir une carte des aléas à la surface du sol, il convient néanmoins de rappeler que des désordres peuvent également survenir au fond.

Les risques associés aux phénomènes évoqués sont l'écrasement et/ou le souffle des personnes et des biens se trouvant dans les secteurs où ils se produisent (rupture plus ou moins étendue dans bancs rocheux en ciel de carrière).

4.2.4. Choix faits pour la cartographie : notion de marge de sécurité

Une marge de sécurité a été considérée dans l'évaluation finale de l'aléa. Il existe en effet des incertitudes dues aux contours des vides par rapport à la surface et aux reports cartographiques :

- Une incertitude de 0,5 m a été considérée sur les contours des vides par rapport à la surface, compte tenu des technologies utilisées pour cartographier la cavité. En effet, le ZEB-REVO permet d'obtenir des données avec une résolution d'ordre centimétrique. La dérive des mesures est très faible (jusqu'à 0,5 m). L'incertitude résultante est donc moindre que pour un levé de géomètre (généralement 1 m) ;
- Une incertitude de 1 m a été attribuée au support utilisé pour le report cartographique (fond cadastral).

Ainsi, un tampon de sécurité d'1,5 m a été ajouté à la carte d'aléa, après croisement des cartes de prédisposition et d'intensité.

4.3. OBSERVATIONS ET EVALUATION DES ALEAS AU NIVEAU DES QUATRE CARRIERES PRINCIPALES

4.3.1. PICA0020015 (cavité n°7)

Cartographie informative

- Généralités

Les accès

Ils se font par cinq entrées en cavage dans la partie Ouest de la carrière (route de Compiègne et chemin au Nord de la commune, configuration de coteau ; Illustrations 9 et 10). Trois puits (à usage a priori d'aération) existent également en partie Est (chemin de Thimet, zone de plateau). Dans le détail :

- A une altitude d'environ +120 m NGF, l'entrée principale comprend une galerie de 20 m de long, accessible entre les parcelles AB0188 et AB0187 (route de Compiègne). Son accès n'est pas sécurisé (pas de porte, pas de clôture) ;
- Les quatre entrées en cavage secondaires se répartissent entre les parcelles AB0194-195, AB0196-197 et AB0362 ;
- Les trois puits se situent sur les parcelles AB0185, ZA0097 et ZA0003. L'état des puits n'est pas précisément connu : ils ne sont pas remblayés et semblent couverts. Pour en savoir plus à ce sujet, il faudrait compléter les observations par une visite des parcelles concernées et par une inspection des parois des puits depuis l'intérieur de la carrière.



Illustration 9 – Entrée principale en cavage de la cavité n°7, route de Compiègne – RD 973 (Google Street View, avril 2018)



Illustration 10 – Entrées secondaires en cavage de la cavité n°7 (avec zoom sur les entrées les plus au Nord, cachées par la végétation), chemin accessible depuis la RD 973 au Nord de le commune (photos BRGM, 2020)

La méthode d'exploitation

La carrière a été exploitée par chambres et piliers dans les calcaires lutétiens (environ 45 Ma). Les piliers sont disposés de façon irrégulière et ne présentent pas de forme particulière (quelques sections carrées à rectangulaires néanmoins), ce qui serait révélateur d'une carrière artisanale relativement ancienne (avant la fin du 19^{ème} siècle).

L'extension maximale de la carrière est de 230 m suivant une coupe Nord-Sud. La hauteur moyenne des vides est d'environ 3 à 5 m. La largeur moyenne des piliers est comprise entre 7 et 8 m pour un maximum de 12 m. L'épaisseur moyenne des terrains de recouvrement est comprise entre 9 et 11 m. Elle atteint jusqu'à 19 m localement à l'extrémité Est de la carrière.

Le taux de défrètement moyen de la carrière n°7 est de 86 %. Il présente des disparités locales liées à l'irrégularité des piliers. Le taux de défrètement atteint par exemple 94 % dans la partie Est de la carrière (parcelle AB0472), dans un secteur où les portées sont parfois supérieures à 8 m et dans lequel les piliers peuvent présenter de petites sections (un pilier d'environ 1,7 m² et plusieurs autres de 4,7 à 4,8 m²).

Zones observées et zones non observées

La quasi-totalité de la carrière semble avoir été couverte par le levé 3D et a pu être visitée. Cependant, quelques doutes persistent quant à certaines extensions non accessibles avec les moyens déployés lors de nos visites, en particulier dans le secteur Nord-Ouest (à proximité du front de taille), dus à :

- Des effondrements ou cône d'éboulis visibles en souterrain en limite d'emprise de la carrière ;
- Une partie murée visible en souterrain ;
- Une galerie d'entrée visible en surface mais non levée au scan 3D (remblais et cône d'éboulis empêchant le passage) ;
- L'existence d'un effondrement en surface, de grandes dimensions, sans accès possible aux anciennes galeries souterraines.

Ces zones d'incertitudes ont été matérialisées sur la carte informative sous forme de figurés ponctuels et surfaciques, matérialisés avec des « ? ».

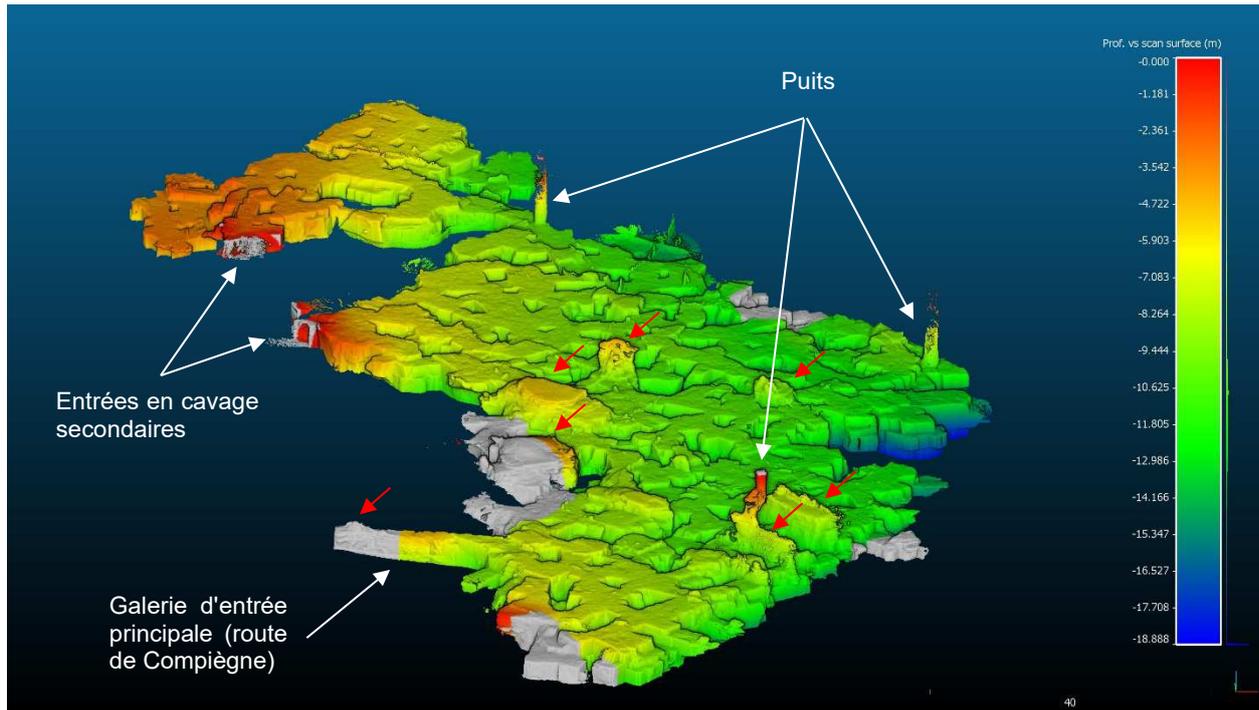


Illustration 11 – Vue 3D générale de la carrière PICAW0020015 (cavité n°7) (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante ; flèches rouges : montées de voûte notables)

- **Instabilités observées**

Les différentes observations effectuées en souterrain mais aussi en surface ont été reportées sur un plan de la cavité issu des levés 3D. Une carte informative présentant ces observations est présentée à l'illustration 13.

Deux mouvements de terrain en surface ont été constatés. Il s'agit de deux effondrements, situé au Nord-Ouest de la carrière, dont la date d'occurrence n'est pas connue :

- Le premier effondrement mesure plus de 10 m de long pour 6 m de large et est visible sur la parcelle AB0197. Ce phénomène se situe latéralement à environ 2 m de l'emprise de la carrière levée au ZEB. En souterrain, un cône d'éboulis est observé dans la même zone ;
- Le second effondrement est de moindre ampleur. Il s'agit d'un trou d'environ 0,35 m de largeur visible le long du chemin.

En souterrain, il a été constaté (Illustration 12 et Annexe 3) :

- De la fracturation affectant le toit et les piliers ;
- Des remontées de fontis et chutes de toit, en particulier dans le secteur Sud-Ouest de la carrière ;
- Des manifestations karstiques dans la partie Sud-Est de la carrière, principalement sous forme de fractures ouvertes (parfois de plusieurs dizaines de centimètres et remplies de matériaux argileux), de conduits et d'infiltrations d'eau ;
- Des phénomènes plus ponctuels tels que des blocs au sol ou des blocs menaçant, des décollement d'écailles au toit ou dans les piliers.

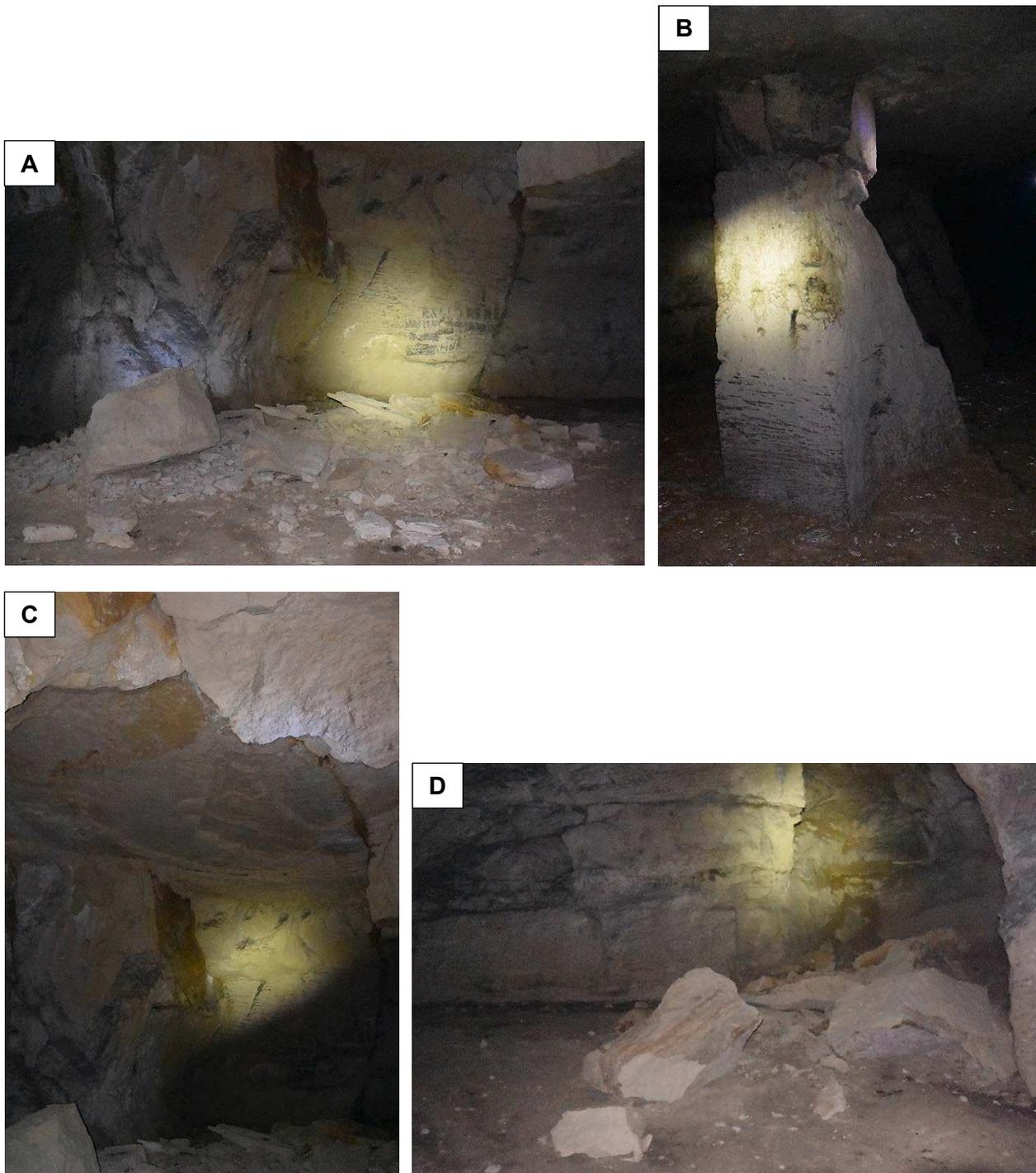


Illustration 12 – Planche photographique présentant quelques phénomènes observés dans la cavité n°7 : chute de toit récente (A), pilier fracturé (B) et décollement de toit (C) avec blocs au sol issus d'une chute de toit récente (D) (source BRGM)

Evaluation de l'aléa

Les cartes de prédisposition, d'intensité et d'aléa effondrement localisé sont présentées aux Illustrations 14, 15 et 16. La méthode utilisée pour caractériser l'aléa est présentée dans le paragraphe 4.2.3 et détaillée en annexe 2.

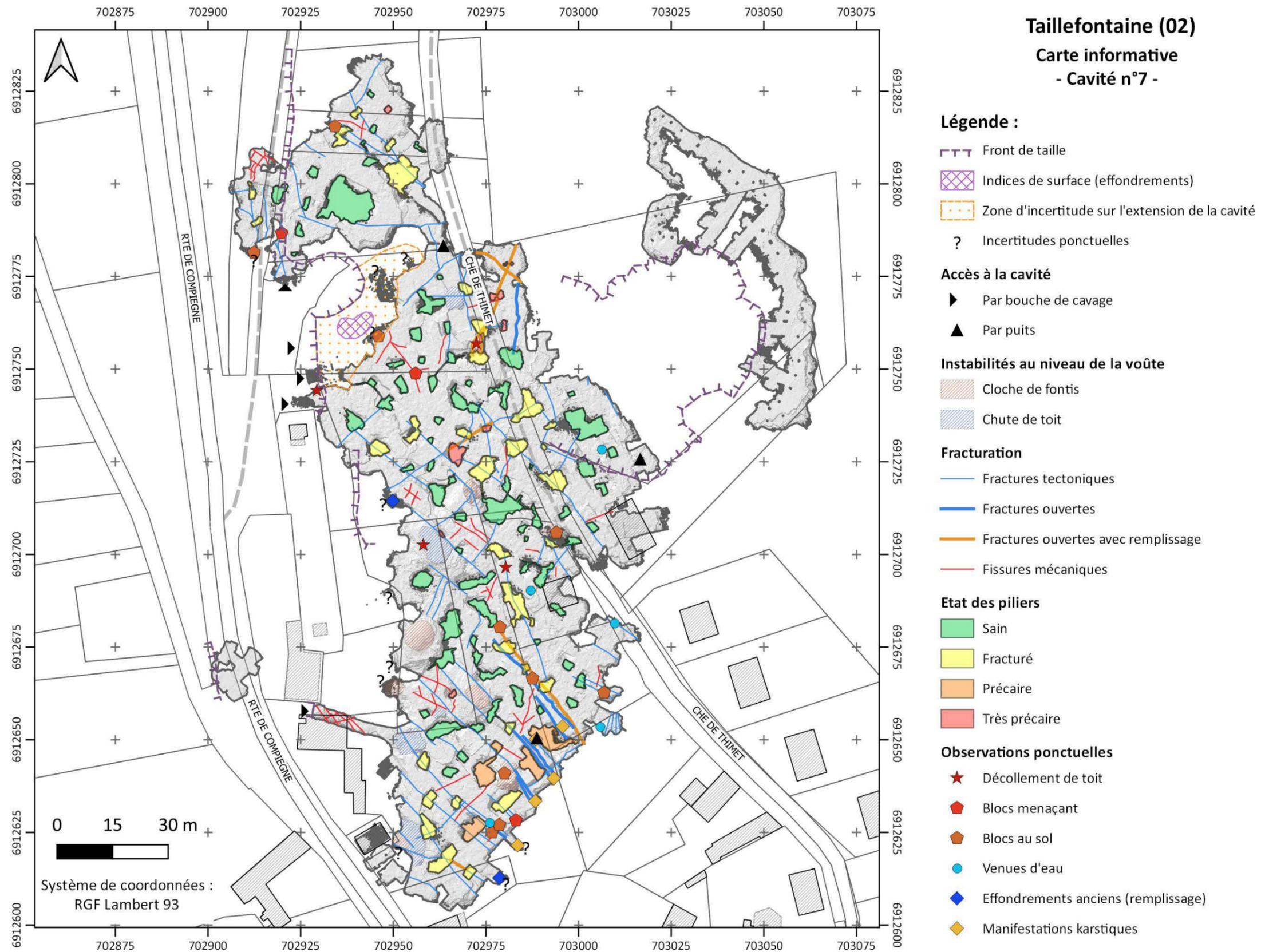


Illustration 13 – Carte informative sur les observations réalisées en fond et en surface en octobre 2019 sur la carrière n°7

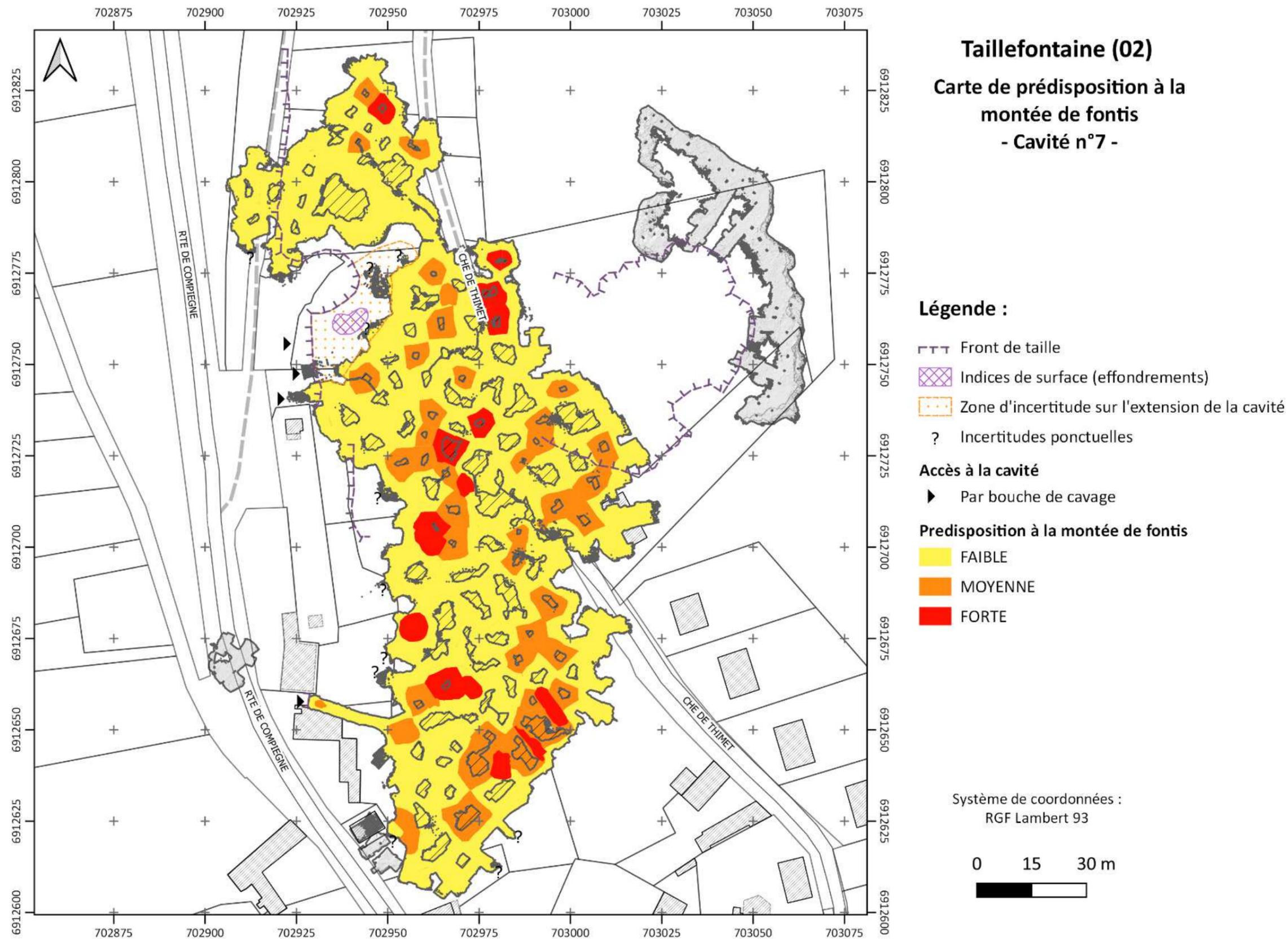


Illustration 14 – Carte de prédisposition à la montée de fontis sur la carrière n°7

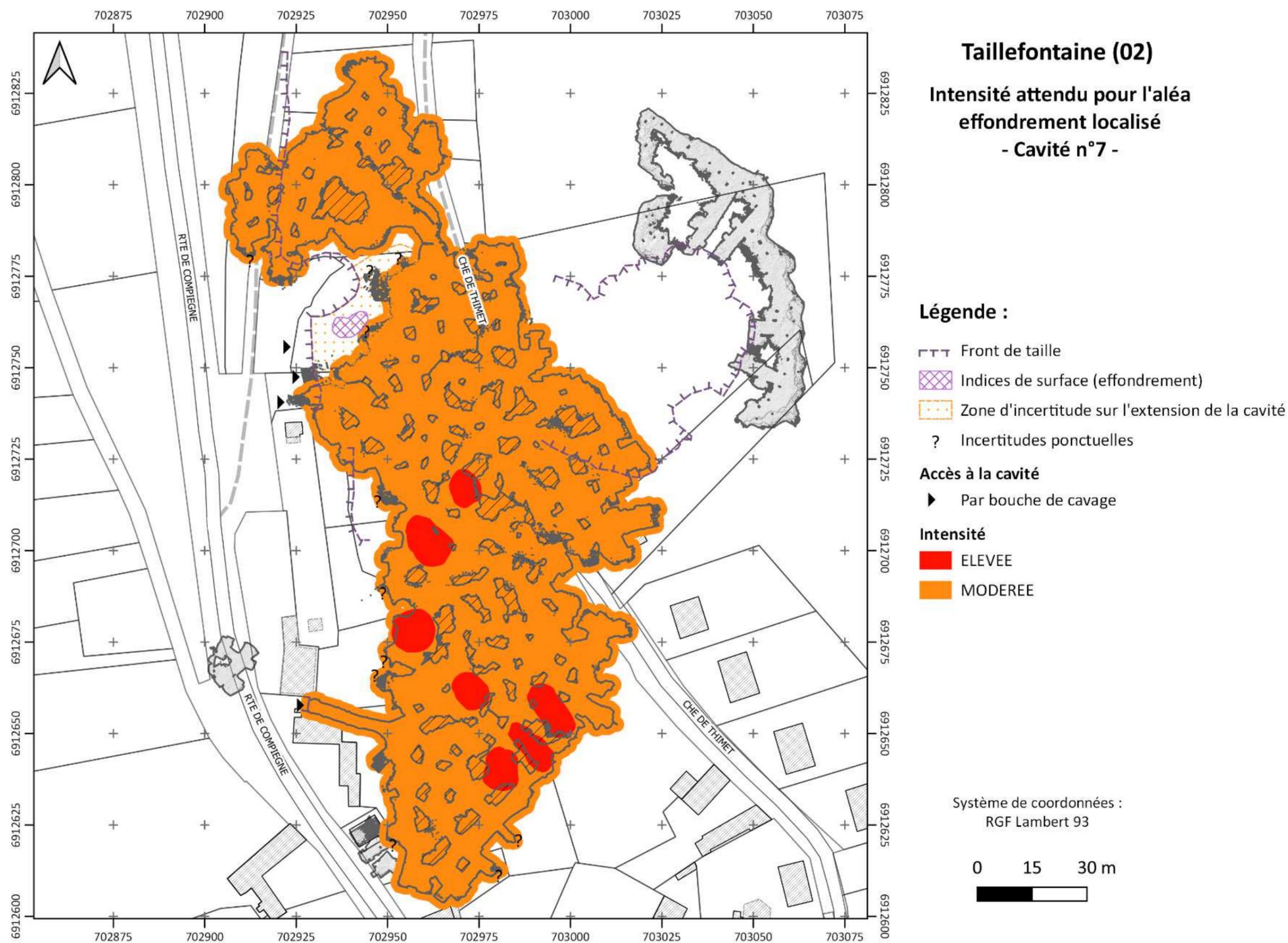


Illustration 15 – Carte d'intensité attendu pour l'aléa effondrement localisé sur la carrière n°7

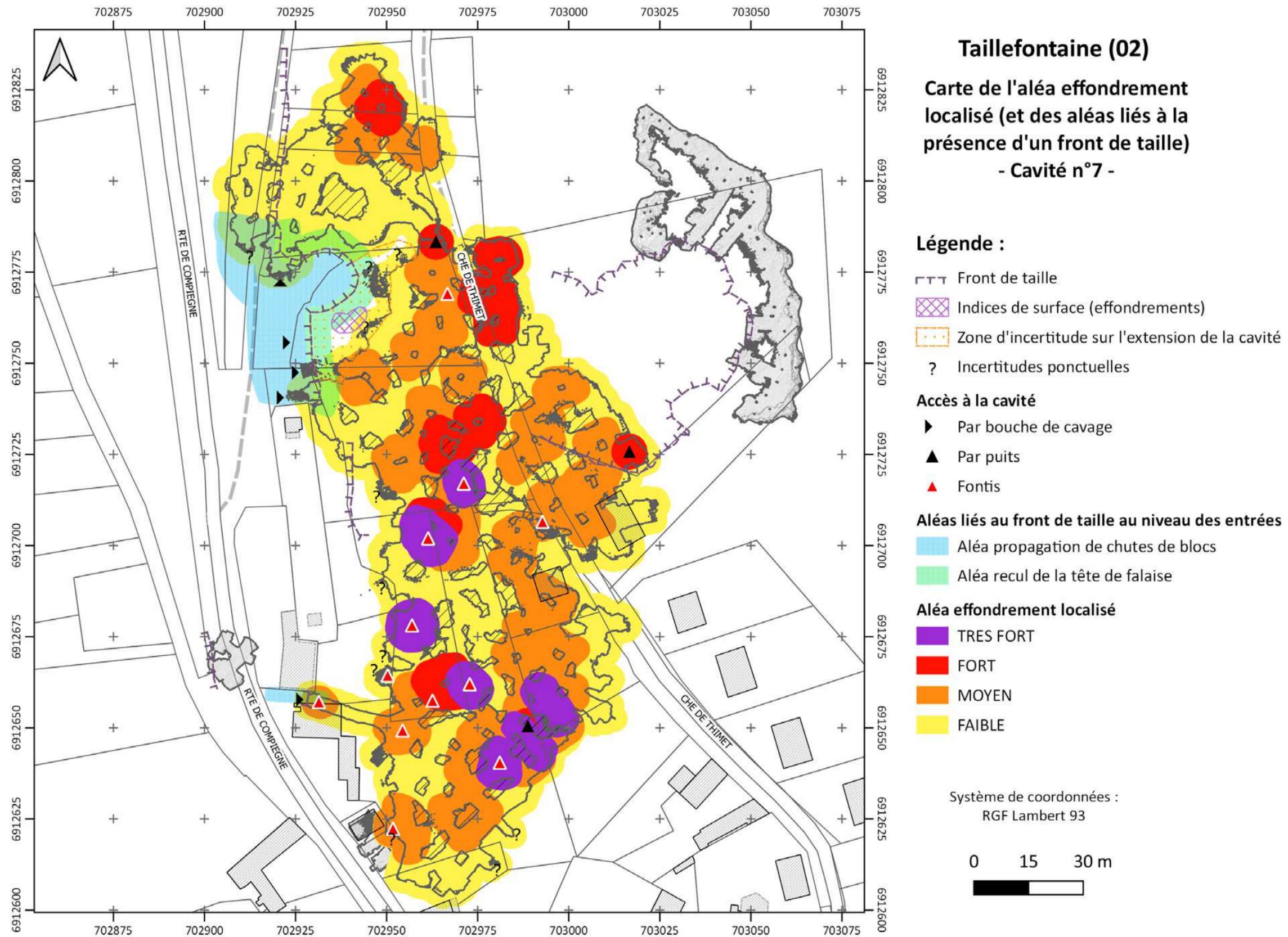


Illustration 16 – Cartographie de l'aléa effondrement localisé (et des aléas liés à la présence d'un front de taille) sur la carrière n°7

4.3.2. PICA0020016 (cavité n°23)

Cartographie informative

- **Généralités**

Les accès

L'accès à la cavité n°23 se fait par une entrée en cavage dans la partie Nord de la carrière (Grande rue, configuration de coteau). Deux puits sont présents en partie Sud (rue d'En Haut, zone de plateau). Dans le détail :

- L'entrée principale, accessible depuis la Grande rue sous la parcelle AB0469, comprend une galerie de 30 m de long située à une altitude d'environ +121 m NGF. Son accès est sécurisé par une porte en bois verrouillée (Illustration 17) ;
- Les puits : un premier se situe entre les parcelles AB0137 et AB0143 et un second se trouve sur la parcelle AB0243. L'état des puits n'est pas précisément connu (couverts, non-remblayés). Pour en savoir davantage sur leur état, il serait nécessaire de compléter les observations par une visite des parcelles concernées et par une inspection des parois des puits depuis l'intérieur de la carrière.



Illustration 17 – Entrée principale en cavage de la cavité n°23 (avec zoom sur l'entrée dégagée, source : photo prise le 03 août 2020), Grande rue (Google Street View, juillet 2013)

La méthode d'exploitation

La carrière a été exploitée par chambres et piliers dans les calcaires lutétiens. Les piliers sont disposés de façon irrégulière et ne présentent pas de forme particulière (quelques sections carrées néanmoins), ce qui serait révélateur d'une carrière artisanale et relativement ancienne.

L'extension maximale de la carrière est de 85 m suivant une coupe SO-NE. La hauteur moyenne des vides est d'environ 3 m (jusqu'à 12 m). La largeur moyenne des piliers est comprise entre 3 et 5 m pour un maximum de 12 m. Des lacunes existent quant aux données d'épaisseur de recouvrement pour cette carrière :

- Seules les données sur le rue d'En Haut sont disponibles (ce qui représente environ 15 % de la surface couverte par la cavité) ;
- Ailleurs, ces épaisseurs ont dû être estimées.

L'épaisseur moyenne des terrains de recouvrement est considérée comme comprise entre 7 et 8 m avec potentiellement jusqu'à 12 m dans la partie Est de la carrière.

Le taux de défrètement moyen de la carrière n°23 est de 87 %.

Zones observées et zones non observées

D'une manière générale, l'ensemble de la carrière semble avoir été couverte par le levé 3D et a pu être visitée. Cependant, quelques doutes persistent quant à l'emprise réelle des travaux souterrains dans deux secteurs, dus à :

- Des effondrements anciens ou cône d'éboulis visibles en limite d'emprise de la carrière ;
- Des données ZEB dégradées dans la partie Sud de la carrière, pouvant correspondre à une galerie remblayée (cône d'éboulis visible).

Ces zones d'extension possible de la carrière ont été matérialisées sur la carte informative sous forme de figurés ponctuels matérialisés par des « ? ».

• Instabilités observées

Les observations effectuées en souterrain ont été reportées sur un plan de la cavité issu des levés 3D. Une carte informative recensant ces observations est présentée à l'illustration 19.

Aucun mouvement de terrain n'a été relevé en surface. En souterrain, il a été constaté (détails en annexe 4) :

- De la fracturation (tectonique⁶ et mécanique⁷) affectant le toit et les piliers ;
- Quelques remontées de fontis, en particulier dans la galerie d'entrée et le secteur Ouest de la carrière (ainsi que quelques dièdres au toit visibles dans la partie Est de la carrière à l'intersection de fractures ouvertes) ;
- Des manifestations karstiques dans la partie Est de la carrière, sous forme de fractures ouvertes avec remplissage argileux ;
- Des phénomènes plus ponctuels tels que des blocs au sol ou des blocs menaçants.

⁶ Discontinuité rocheuse dont l'origine est liée à l'histoire tectonique du massif rocheux (ex : failles) (IFSTTAR, 2014)

⁷ Discontinuité rocheuse dont l'origine est liée au creusement de la carrière (IFSTTAR, 2014)

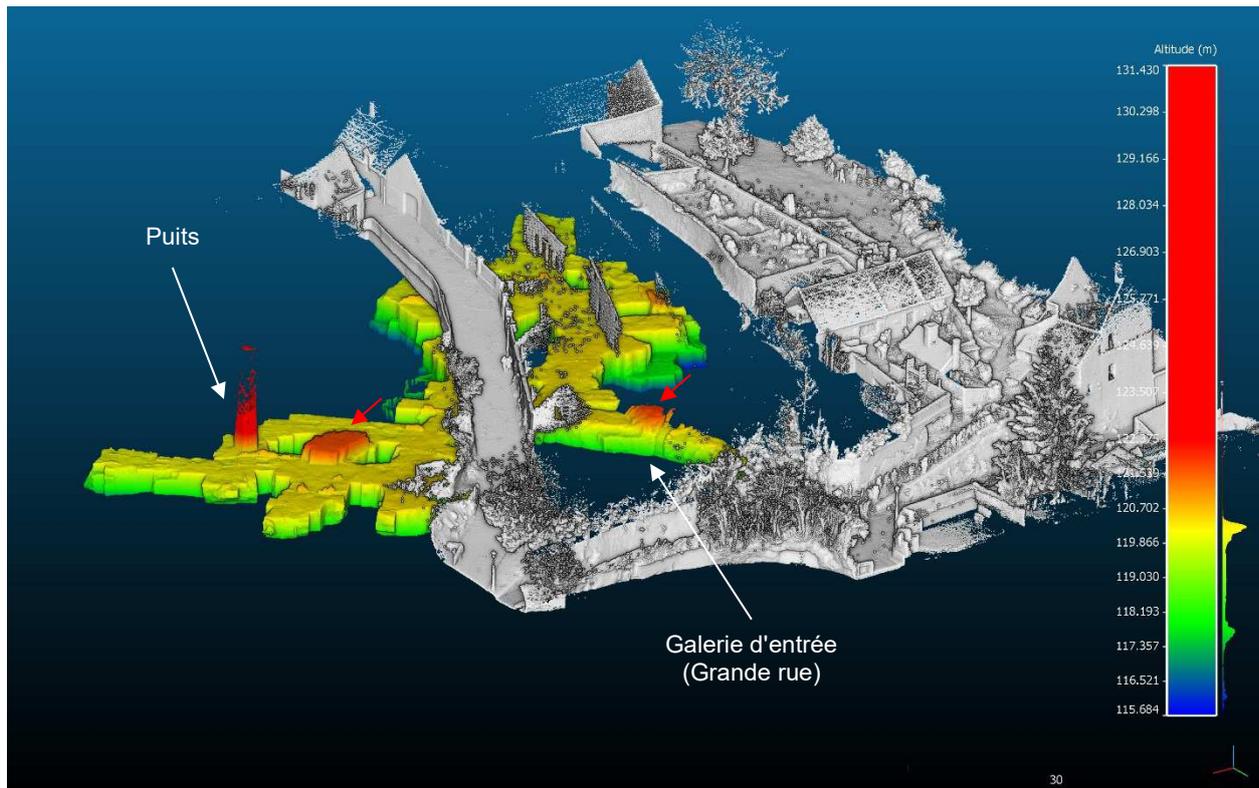


Illustration 18 – Vue 3D générale de la cavité PICAW0020016 (cavité n°23) (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante ; flèche rouges : montées de voûte notables)

Evaluation de l'aléa

Les cartes de prédisposition, d'intensité et d'aléa effondrement localisé sont présentées aux Illustrations 20, 21 et 22. La méthode utilisée pour caractériser l'aléa est présentée dans le paragraphe 4.2.3 et détaillée en annexe 2.

La cartographie de l'aléa met en évidence un aléa très fort dans deux secteurs de la galerie d'entrée dont un situé au droit d'un bâtiment d'habitation (détails sur les instabilités de cette zone en annexe 4). Au regard de l'aléa et des enjeux présents en surface, il s'agit a priori de la zone la plus inquiétante des quatre cavités traitées. Une attention particulière est portée à cette zone dans les recommandations (Chapitre 5).

Cette carrière ne présente pas de front de taille visible au niveau de sa galerie d'entrée (maçonné). Les aléas liés au front de taille au niveau des entrées n'ont donc pas été évalués.

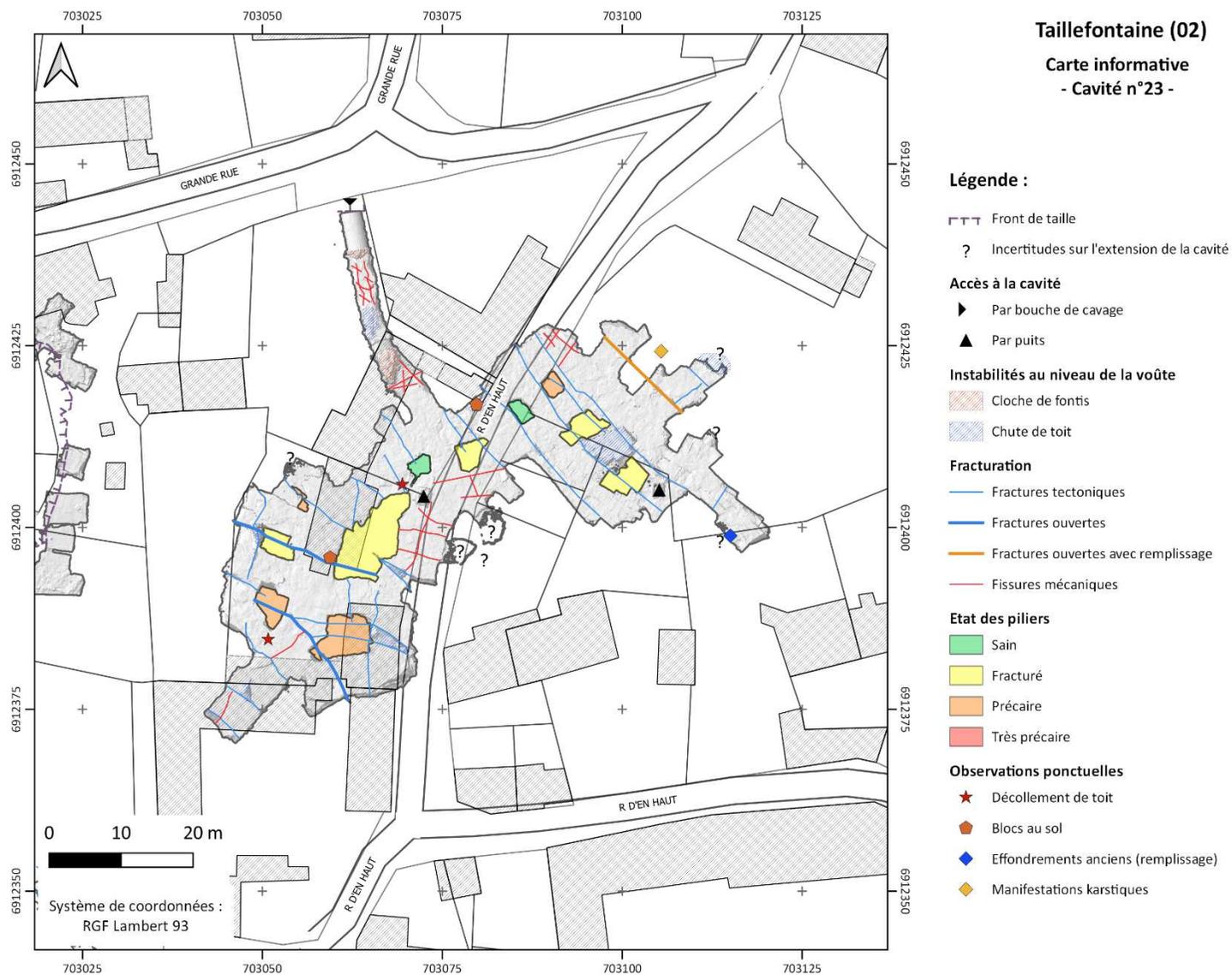


Illustration 19 – Carte informative sur les observations réalisées en fond et en surface en octobre 2019 sur la carrière n°23

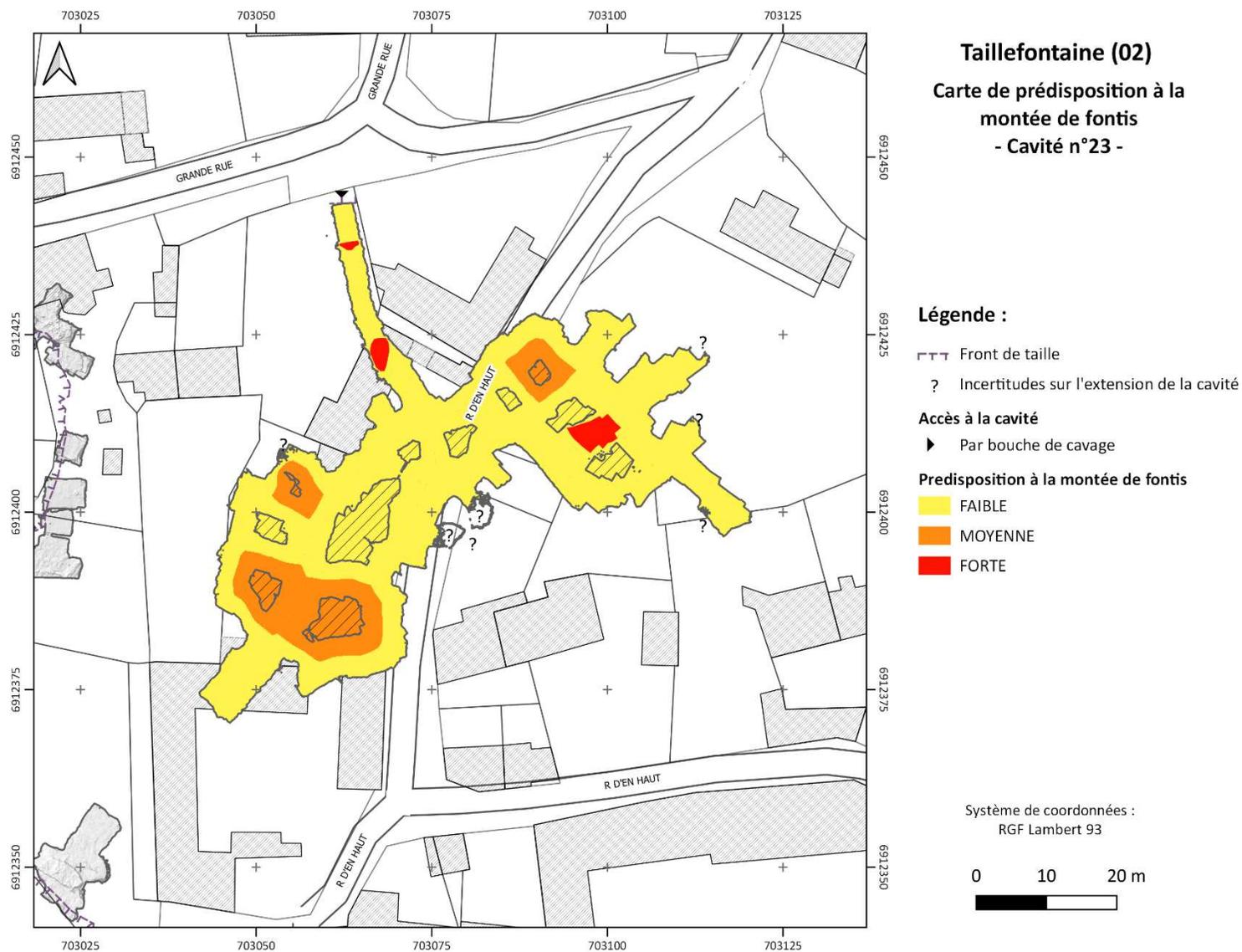


Illustration 20 – Carte de prédisposition à la montée de fontis sur la carrière n°23

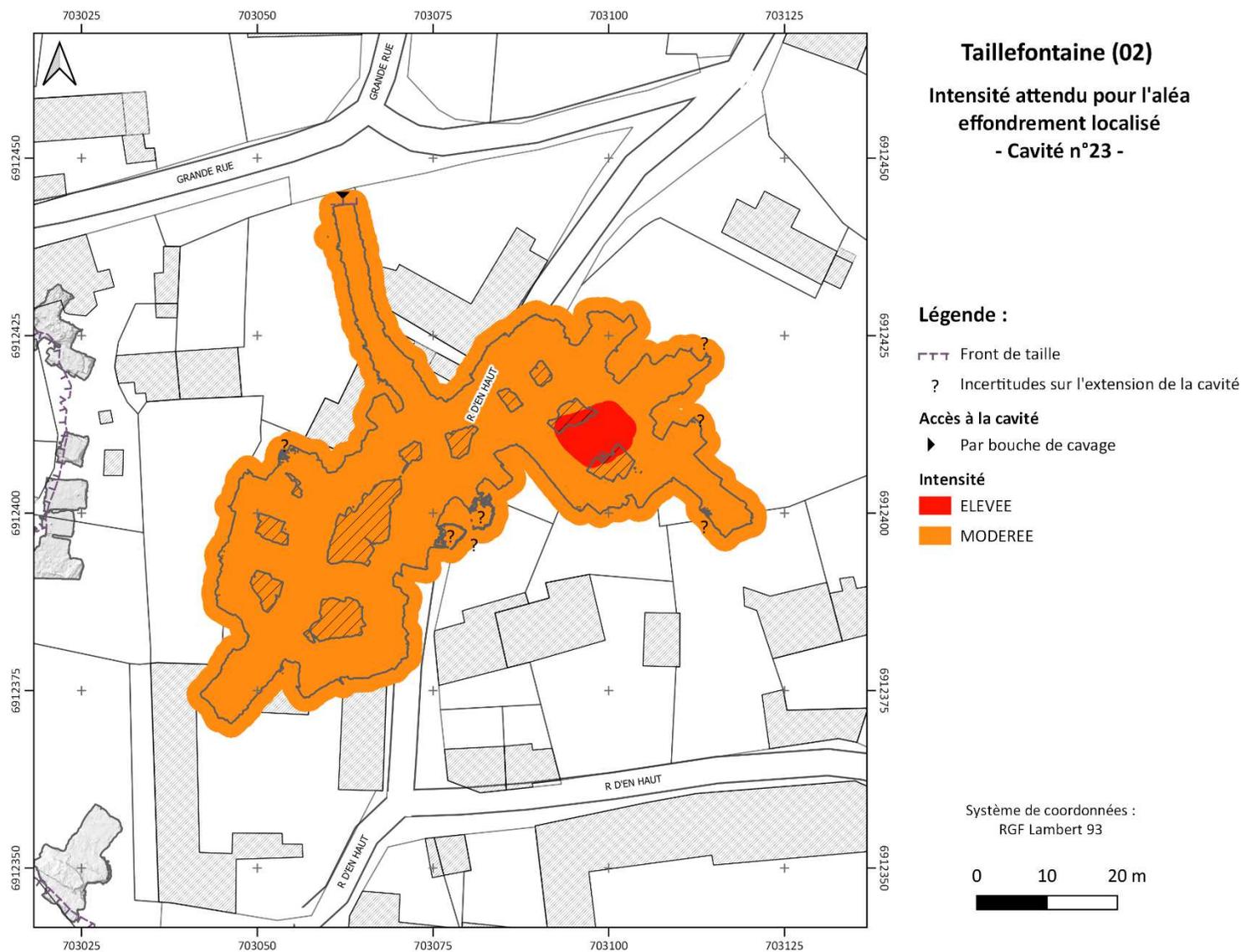


Illustration 21 – Carte d'intensité attendu pour l'aléa effondrement localisé sur la carrière n°23

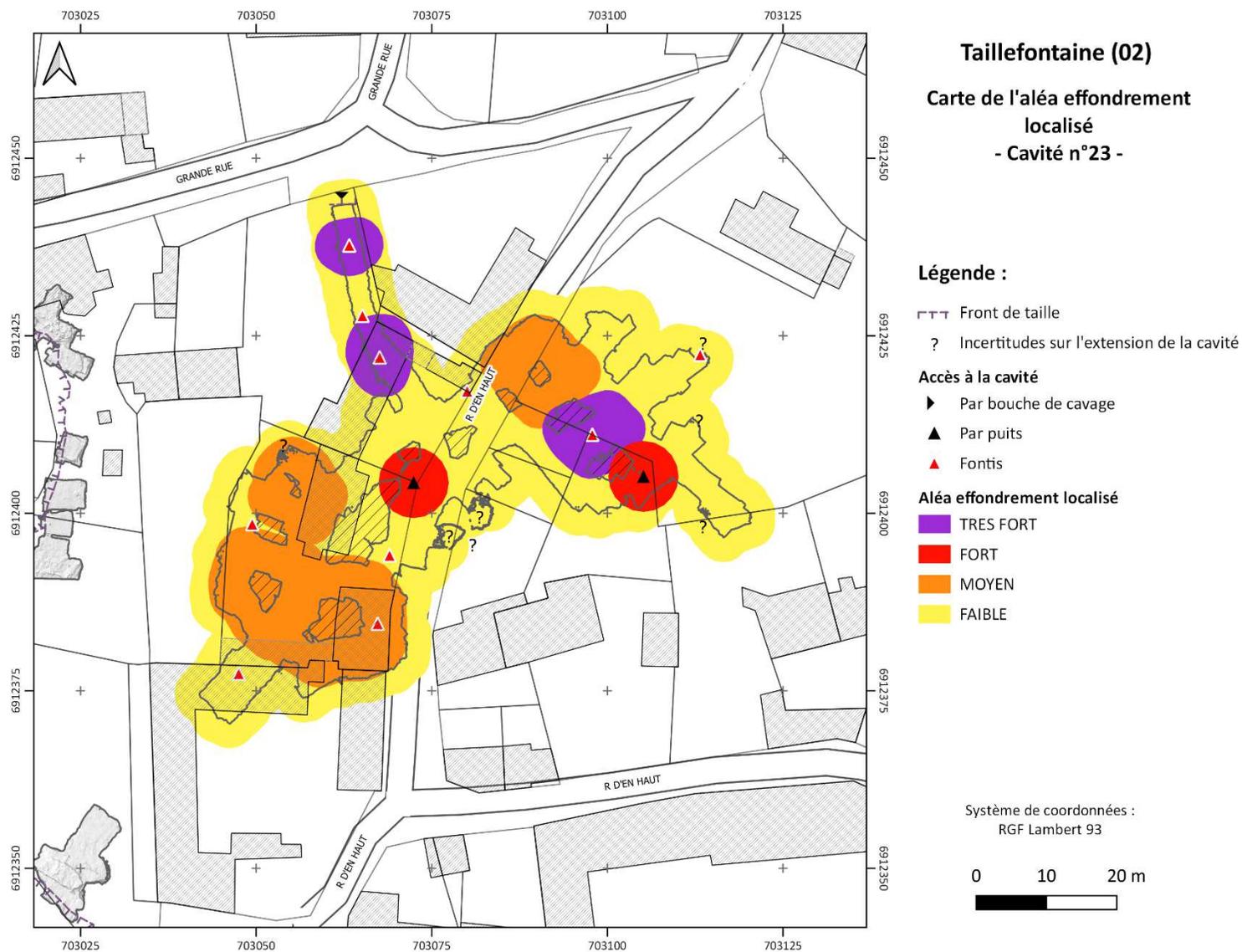


Illustration 22 – Cartographie de l'aléa effondrement localisé sur la carrière n°23

4.3.3. PICA0020017 (cavité n°4-5-15)

Cartographie informative

- **Généralités**

Les accès

La cavité PICA0020017 est accessible par une entrée en cavage depuis la parcelle AB0367, 4 chemin du Jeu d'Arc, à une altitude de + 115 m NGF. L'entrée principale de la cavité n'est pas sécurisée (pas de porte, pas de clôture, pas de panneau d'information ; Illustration 23).

Un puits (couvert mais a priori non-remblayé) est également présent sur la parcelle AB0169. Son état n'est pas précisément connu (couvert, non-remblayé). Pour en savoir plus à ce sujet, il serait nécessaire de compléter les observations par une visite de la parcelle concernée et par une inspection de ses parois depuis la carrière.



Illustration 23 – Entrée en cavage de la carrière n°4-5-15, chemin du Jeu d'Arc, avec au premier plan un opérateur et le scanner laser 3D (source : photo prise le 10 février 2017)

La méthode d'exploitation

Il s'agit d'une petite carrière de calcaires lutétiens exploitée en chambres et piliers, qui a par la suite été cloisonnée pour former trois caves. Les quelques piliers présents dans la carrière sont irréguliers et ne présentent pas de forme géométrique particulière, ce qui est révélateur d'une carrière relativement ancienne (avant la fin du 19^{ème} siècle).

L'extension maximale de la carrière est de 48 m suivant une coupe NO-SE. La hauteur moyenne des vides est d'environ 3 m (jusqu'à 5 m). La largeur moyenne des piliers est comprise entre 1,5 et 4 m (pour un maximum de 6 m). L'épaisseur moyenne de terrains de recouvrement est de 4 m (jusqu'à 7 m dans la partie Nord-Est).

Le taux de défrètement de la carrière n°4-5-15 est supérieur à 95 %.

Zones observées et zones non observées

L'emprise de la carrière semble avoir été bien définie. Cependant, il persiste un doute sur une possible extension de la cavité dans la partie extrême Est (cône d'éboulis et chute de toit visibles). Cette zone d'incertitude a été matérialisée sur la carte informative sous forme d'un « ? ».

Par ailleurs, la présence de deux poteaux en béton a été constaté dans l'extrémité Sud de la carrière. D'aspect relativement récent, ces derniers constituent un confortement du toit de la cavité. En effet, il semble qu'une chute de toit ait eu lieu dans cette zone (dalle de toit 0,6 m plus haute que le reste de la carrière).

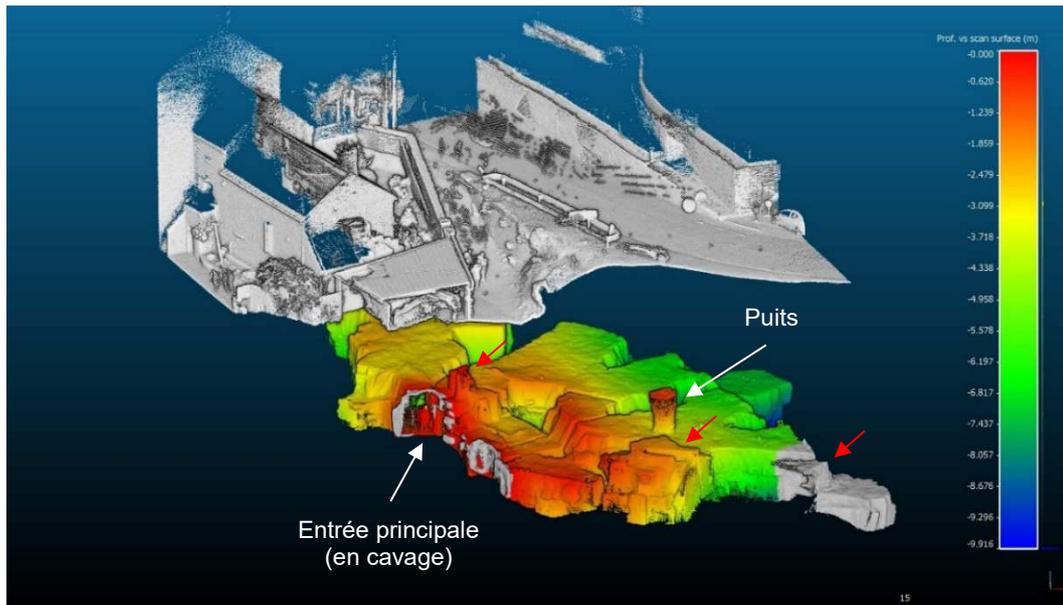


Illustration 24 – Vue 3D générale de la cavité PICAW0020017 (cavité n°4-5-15) (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante ; flèches rouges : montées de voûte notables)

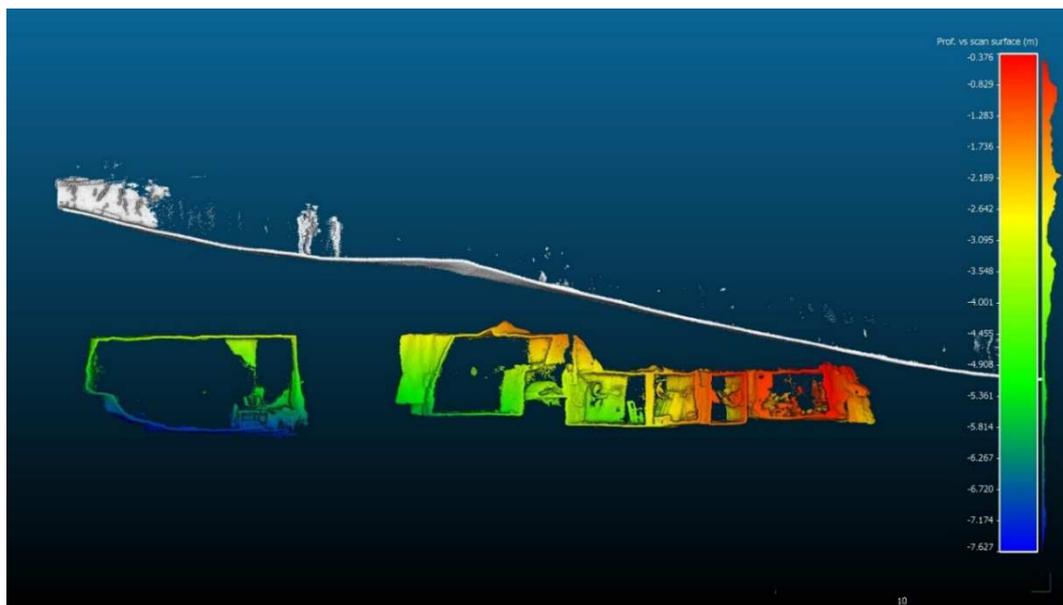


Illustration 25 – Vue en coupe de la cavité n°4-5-15 sous le chemin du Jeu d'Arc (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante)

- **Instabilités observées**

Les différentes observations effectuées en souterrain ont été reportées sur un plan de la cavité issu des levés 3D. Une carte informative recensant ces observations est présentée à l'illustration 27.

Aucun mouvement de terrain n'a été relevé en surface. En souterrain, il a été constaté :

- De la fracturation (régionale et mécanique) affectant le toit ;
- Quelques remontées de fontis et chutes de toit, en particulier au niveau de l'entrée (Illustration 26) et dans le secteur Est (cône d'éboulis, remontées de toit, soutènement à l'aide de poteaux en béton).

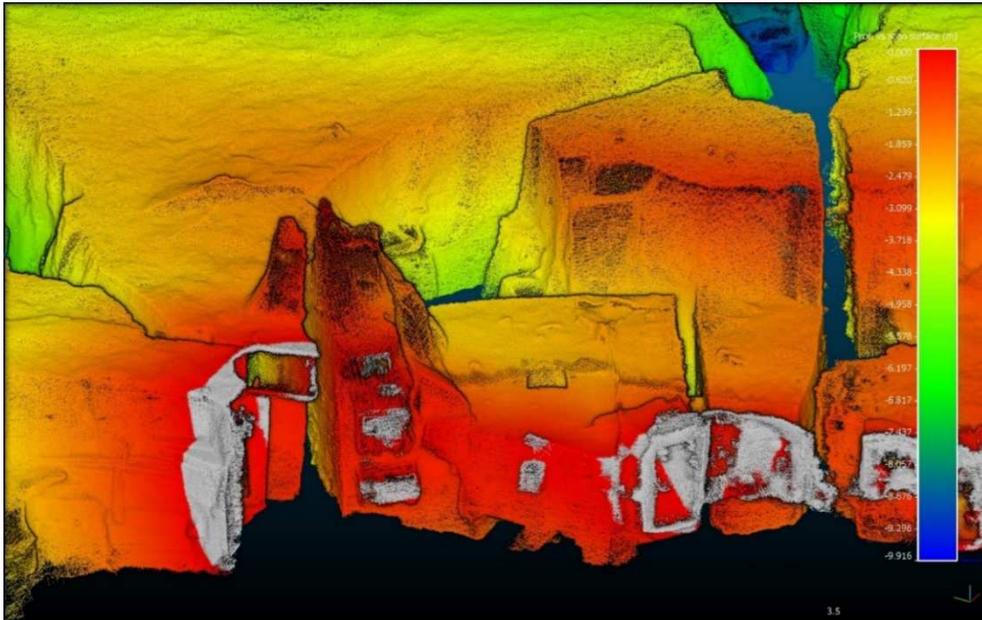


Illustration 26 – Remontées de fontis au niveau de l'entrée principale de la cavité n°4-5-15 (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante)

Evaluation de l'aléa

Les cartes de prédisposition et d'aléa effondrement localisé sont présentées aux Illustrations 28 et 29. L'intensité de l'effondrement attendu en surface étant modérée sur l'ensemble de la carrière n°4-5-15, elle n'a pas été cartographiée. La méthode utilisée pour caractériser l'aléa est présentée dans le paragraphe 4.2.3 et détaillée en annexe 2.

Cette carrière ne présente pas de front de taille au niveau de sa galerie d'entrée (maçonné). Les aléas liés au front de taille au niveau des entrées n'ont donc pas été évalués.

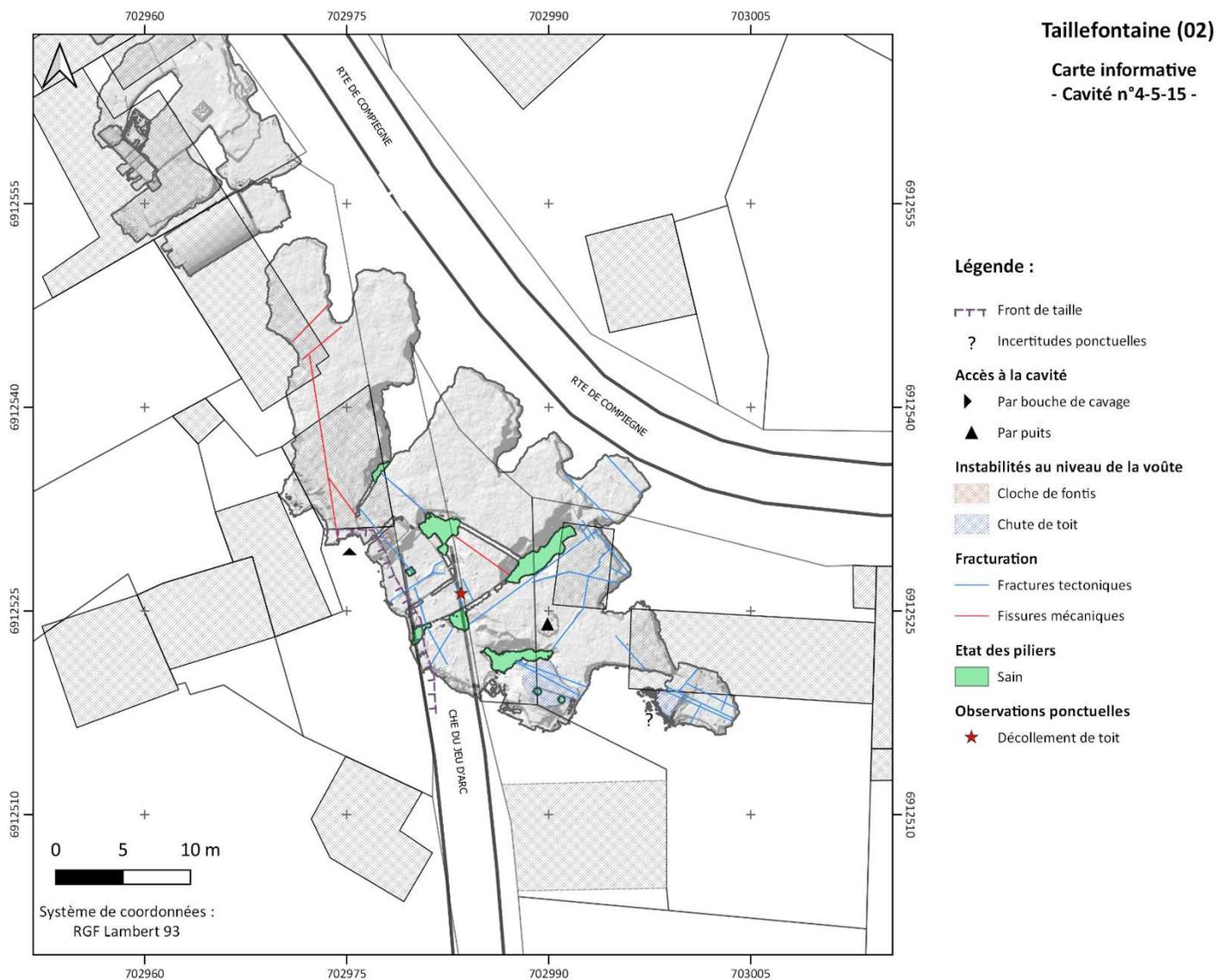


Illustration 27 – Carte informative sur les observations réalisées en fond et en surface en octobre 2019 sur la carrière n°4-5-15

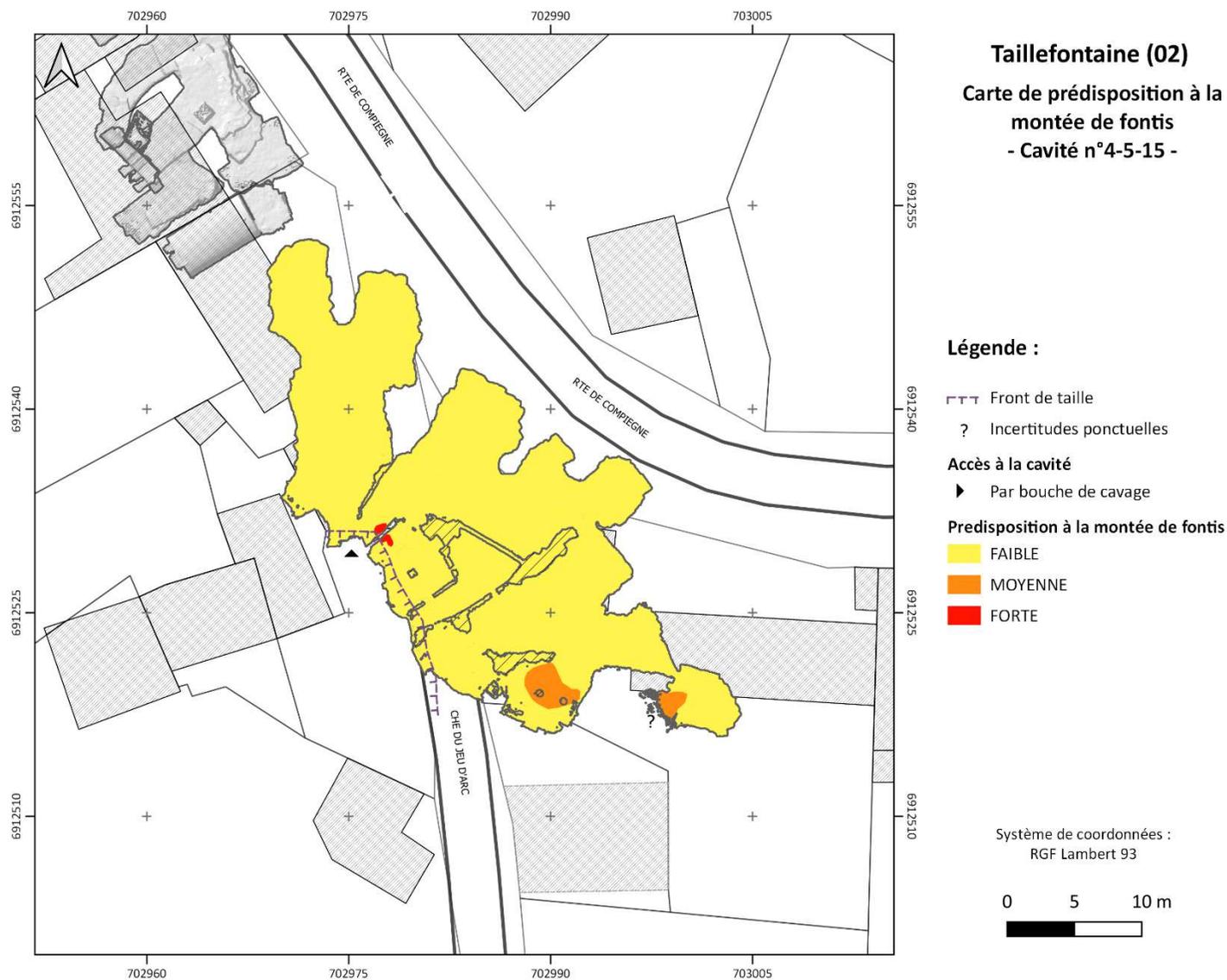


Illustration 28 – Carte de prédisposition à la montée de fontis sur la carrière n°4-5-15

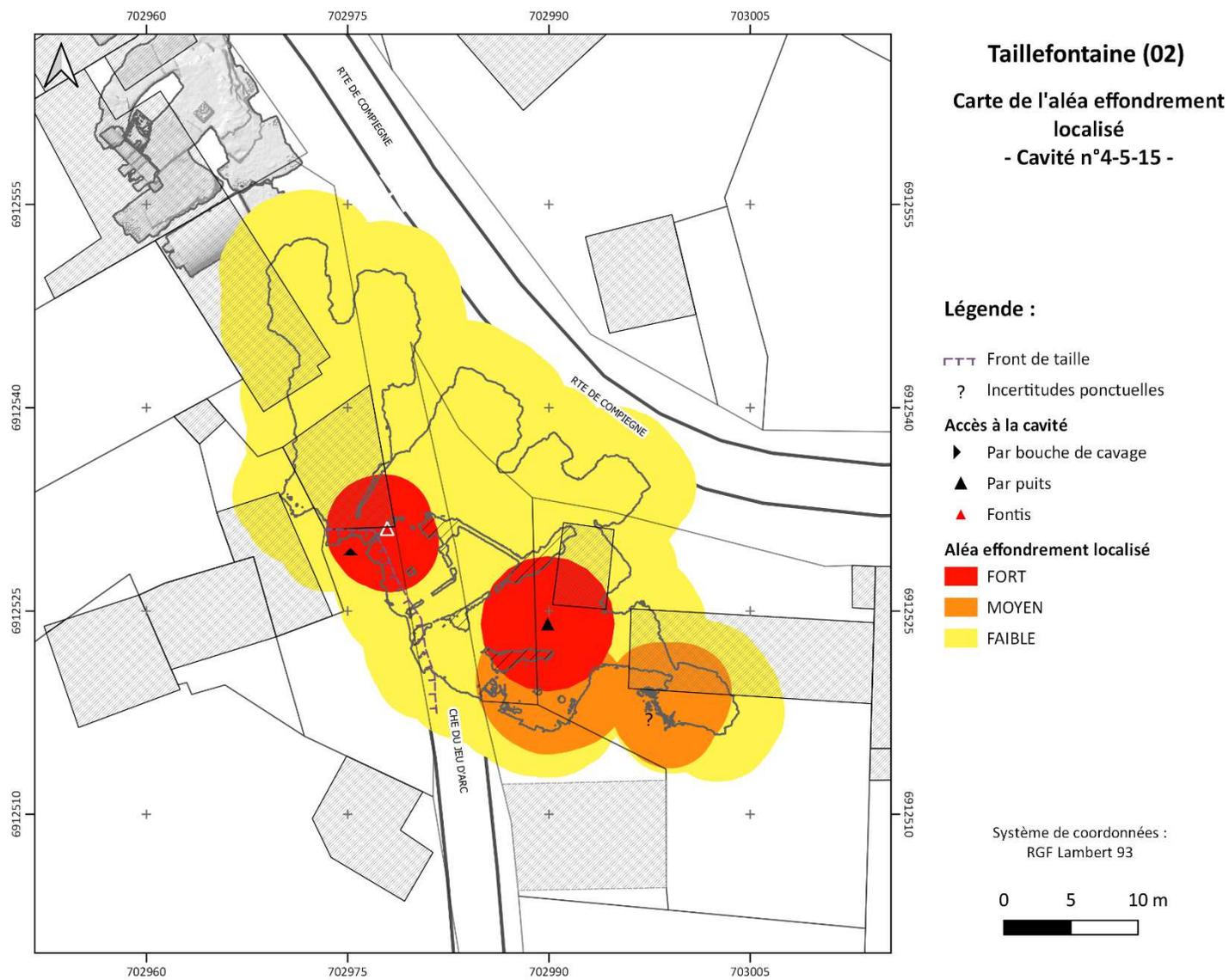


Illustration 29 – Cartographie de l'aléa effondrement localisé sur la carrière n°4-5-15

4.3.4. Cavité n 1

Cartographie informative

- **Généralités**

Les accès

La cavité est accessible à flanc de coteau (+ 112 m NGF) depuis la parcelle ZH0009 en contre-bas de la route de Compiègne, au Nord de Taillefontaine. Ses entrées sont s curis es par une clôture grillag e et des portes en métal verrouill es (Illustration 30).



Illustration 30 – Entrée en cavage de la cavité troglodytique n 1, sous-cavant le RD 973 (source : photo prise le 10 février 2017)

La méthode d'exploitation

L'habitation troglodytique a été exploit e par la méthode des chambres et piliers. Il s'agit d'une exploitation de petite taille, avec une extension maximale de 16 m et ne comportant qu'un seul pilier central. La hauteur moyenne de vide est d'environ 2,3 m. L'épaisseur des terrains de recouvrement est comprise entre 1,7 et 2,5 m. Une dalle calcaire surplombe la cavité.

Le taux de d fuitement de la cavité est de 93 %.

Zones observ es et non observ es

L'ensemble de la cavité semble avoir été cartographi e. Aucune zone ind termin e ne persiste concernant l'extension possible de cette cavité.

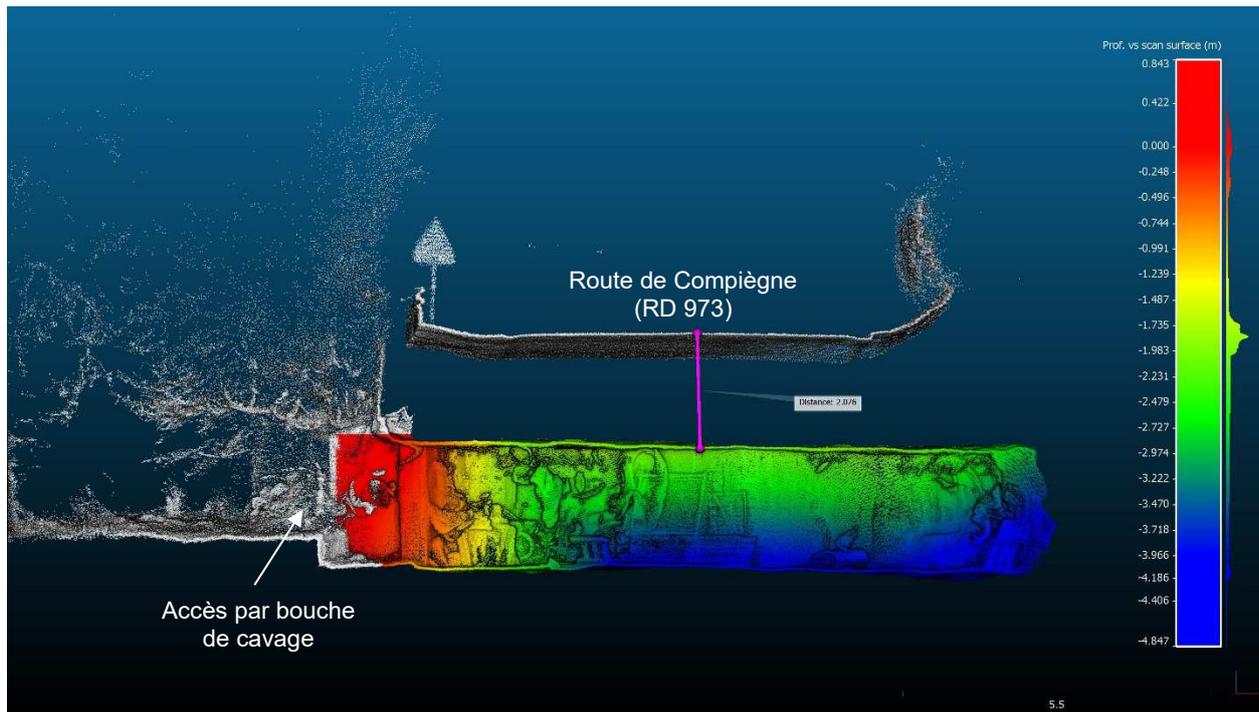


Illustration 31 – Vue en coupe de la cavité n°1 sous la RD 973 (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante)

- **Instabilités observées**

Les différentes observations effectuées en souterrain ont été reportées sur un plan de la cavité issu des levés 3D. Une carte informative recensant ces observations est présentée à l'illustration 32.

Aucun mouvement de terrain n'a été relevé en surface. En souterrain, il a principalement été constaté une fracturation régionale au toit, peu marquée, ainsi que quelques fissures mécaniques. Le pilier est sain et ne présente pas de fracturation. Aucune trace d'infiltration n'a été observée.

Evaluation - identification de l'aléa

La carte d'aléa effondrement est présentée à l'illustration 32. La prédisposition à la rupture et l'intensité du phénomène redouté étant homogènes sur l'ensemble de la cavité, elles n'ont pas été cartographiées. Ainsi, la prédisposition à la montée de voûte est faible et l'intensité modérée sur l'ensemble de la cavité. Il est à noter que l'épaisseur des terrains de recouvrement est relativement faible au-dessus de l'habitation troglodytique (2 m). Une épaisseur de terrains non-cohérents d'1,5 m a été retenue, ce qui implique donc un effondrement attendu en surface d'un diamètre de 3 m *a minima* (traduit par une intensité modérée).

La méthode utilisée pour caractériser l'aléa est présentée dans le paragraphe 4.2.3 et détaillée en annexe 2.

Taillefontaine (02)

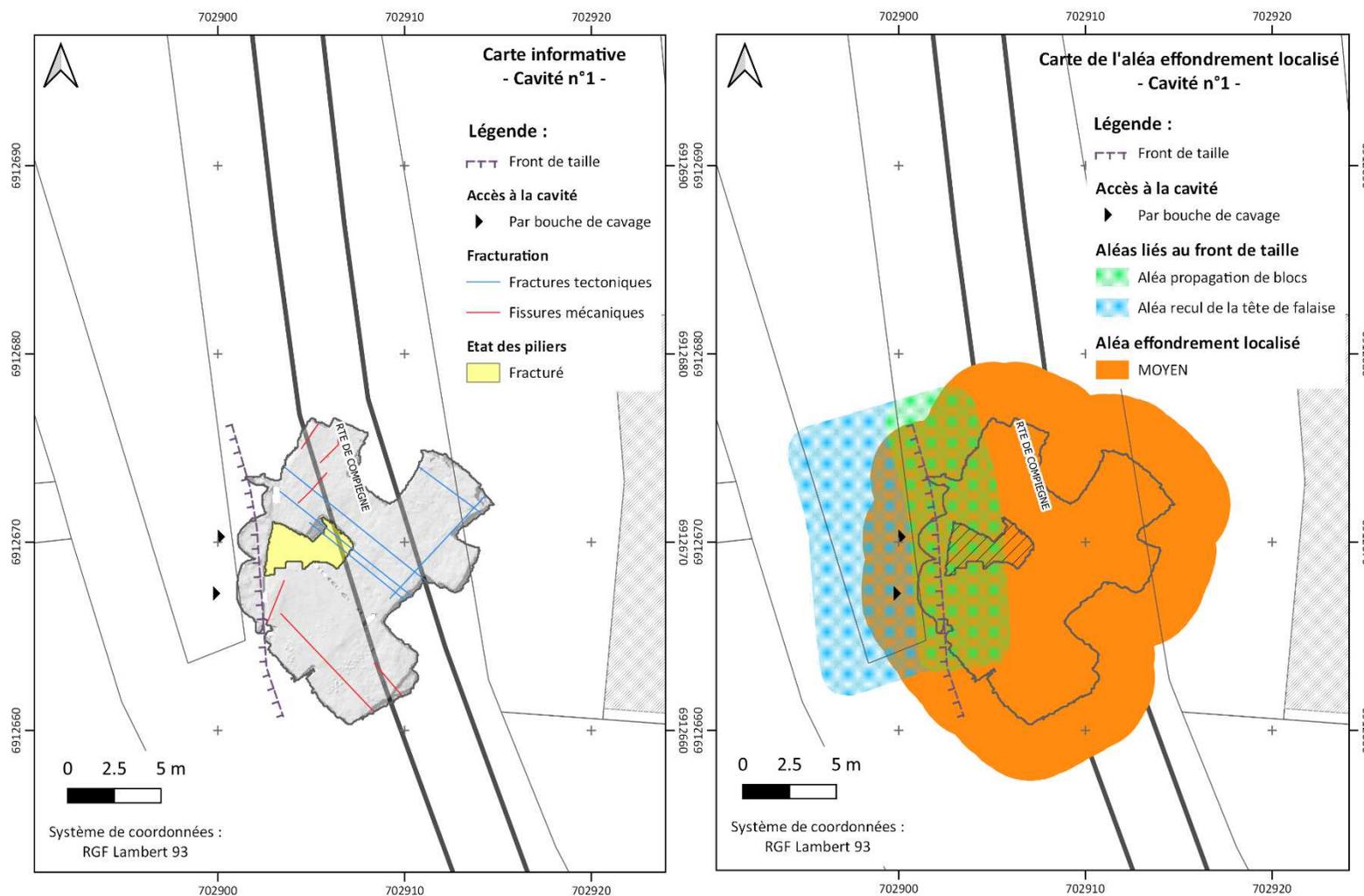


Illustration 32 – Carte informative sur les observations réalisées en fond et en surface en octobre 2019 (à gauche) et cartographie de l'aléa effondrement localisé (à droite) sur la carrière n°1

4.4. OBSERVATIONS SUPPLEMENTAIRES SUR DEUX AUTRES CAVITES

Deux autres cavités, initialement non incluses à la convention, ont fait l'objet, à la demande expresse de la mairie lors de nos visites de terrain, d'une cartographie et d'observations supplémentaires.

Etant données les observations faites lors des visites de ces deux cavités, et en particulier vu les instabilités relevées et les enjeux concernés, le BRGM présente dans cette partie certains éléments à prendre en compte à l'avenir (voir Chapitre 5).

4.4.1. Cavité n°9 : chemin de Thimet

Cette cavité, située au Nord-Est de la cavité PICA0020015 (cavité n°7), présente des signes d'instabilités forts. Plusieurs décolllements de dalles de toit sont notamment constatés.

Le front de taille d'une carrière à ciel ouvert est visible dans la partie Sud-Ouest de cette zone. La carrière souterraine a été creusée au Nord-Est à partir du front de taille laissé par la carrière à ciel ouvert (Illustration 33). Les parcelles ZA00097 et ZA00098 sur lesquelles se situent la cavité sont clôturées.

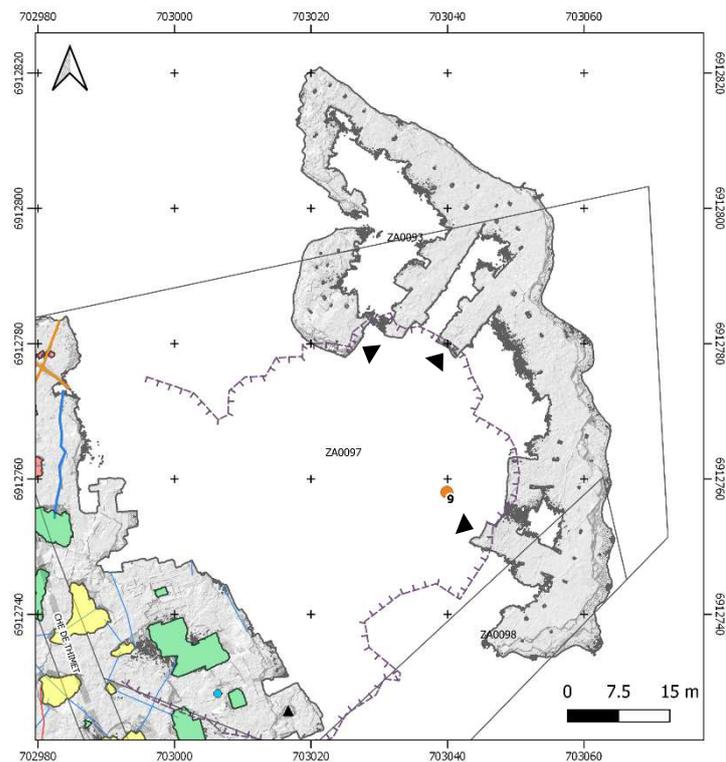


Illustration 33 – Emprise de la cavité n°9 (ombrage au niveau du toit)

L'épaisseur des terrains de recouvrement est par ailleurs très faible (2,5 m en moyenne, jusqu'à 6m) et quelques piliers de section très réduite (d'environ 1,5 m² pour la majorité) semblent avoir été laissés au moment de l'exploitation (sauf si certains sont dissimulés dans les zones remblayées) Les espaces vides présentent ainsi des portées importantes (5 m en moyenne, jusqu'à 7 m). Seuls des remblais et des piliers maçonnés à la stabilité douteuse ont pu être observés dans les zones non remblayées.

Une zone effondrée a par ailleurs été observée en souterrain dans la partie Nord de la carrière. Cependant, aucune manifestation en surface n'est visible.

4.4.2. Cavité n°19 : face à l'école élémentaire

Cette cavité de petites dimensions (130 m², extension maximale de 18 m, hauteur moyenne de vide d'1 m) présente un mauvais état de stabilité. Elle se situe sous deux parcelles (AB0157 et AB0153), à proximité d'une habitation et sous-cave en partie un jardin-terrasse (Illustration 34).

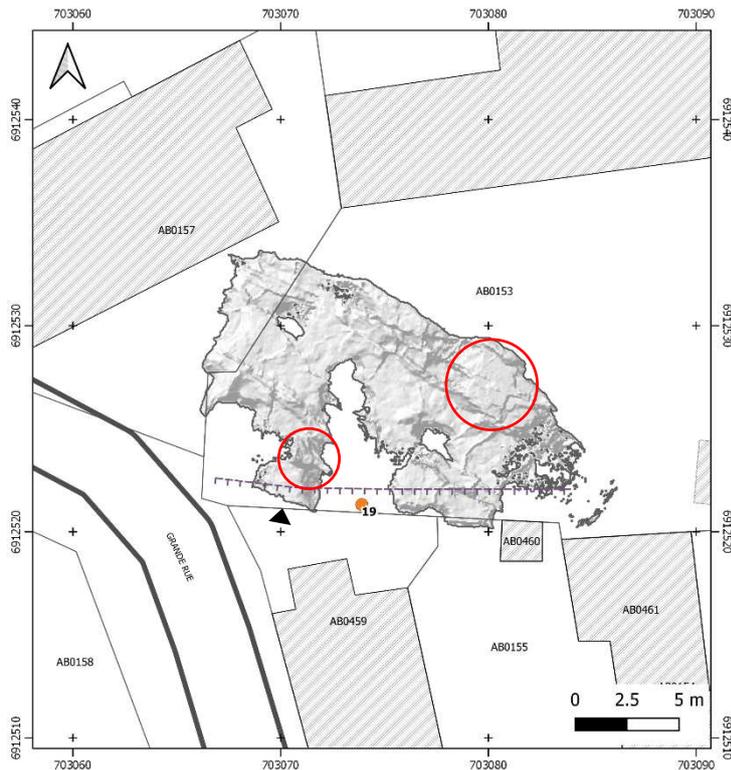


Illustration 34 – Emprise de la cavité n°19 (ombrage au niveau du toit ; cercles rouges : remontées de fontis)

La hauteur de vide moyenne dans cette cavité est d'environ 1 m. Cependant, deux remontées de fontis ont été identifiées, présentant des hauteurs de vide de l'ordre de 3 m. Seuls 2 m séparent ces fontis de la surface. De plus, un faisceau de fractures anastomosées, ouvertes sur une hauteur importante, a été constaté (Illustrations 35 et 36).

4.4.3. Cavité n°38 : hangar de l'école

Cette cavité n'a été ajoutée que tardivement par la mairie à l'inventaire. Elle n'a donc pas pu faire l'objet d'une cartographie et son état n'est pas connu. Cependant, elle se situe dans l'emprise de l'école élémentaire de Taillefontaine. D'après les témoignages, elle est accessible par un puits aménagé dans le hangar de l'école et se prolongerait en partie sous la Grande rue.

Au regard d'enjeux forts en présence, une visite devra rapidement être réalisée afin d'évaluer la stabilité de la cavité et de prendre les mesures de sécurisation qui s'imposent.

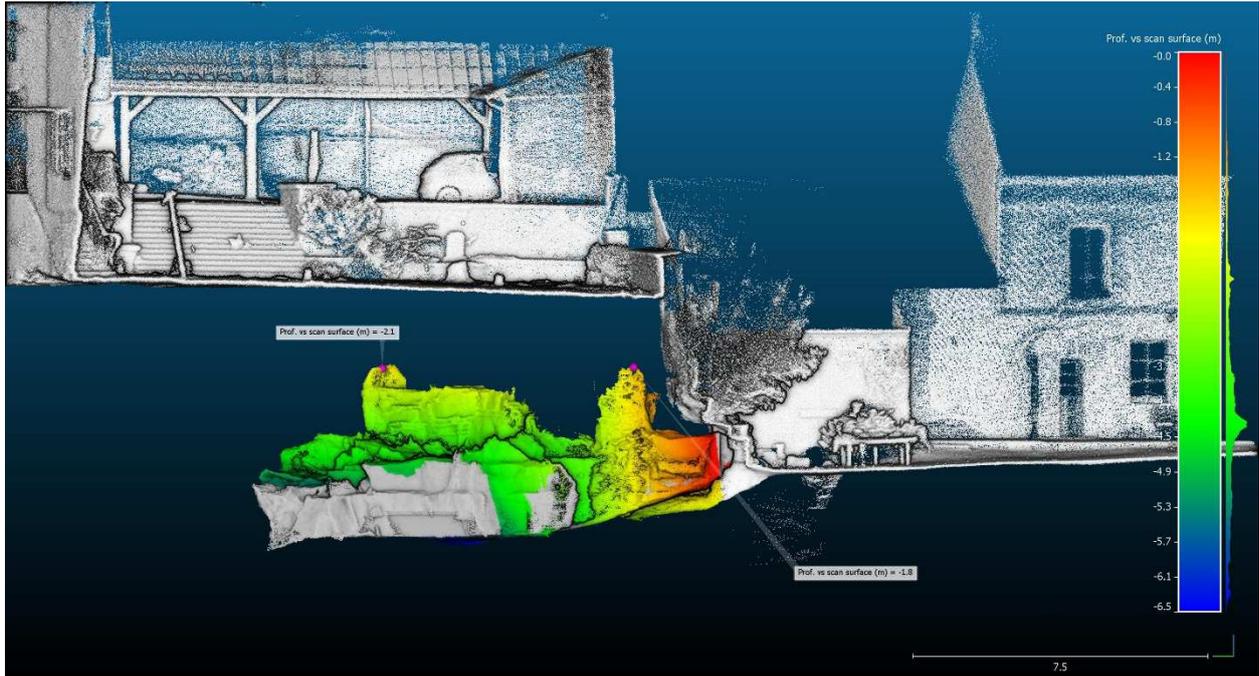


Illustration 35 – Vue 3D générale de la cavité n°19 (code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante)

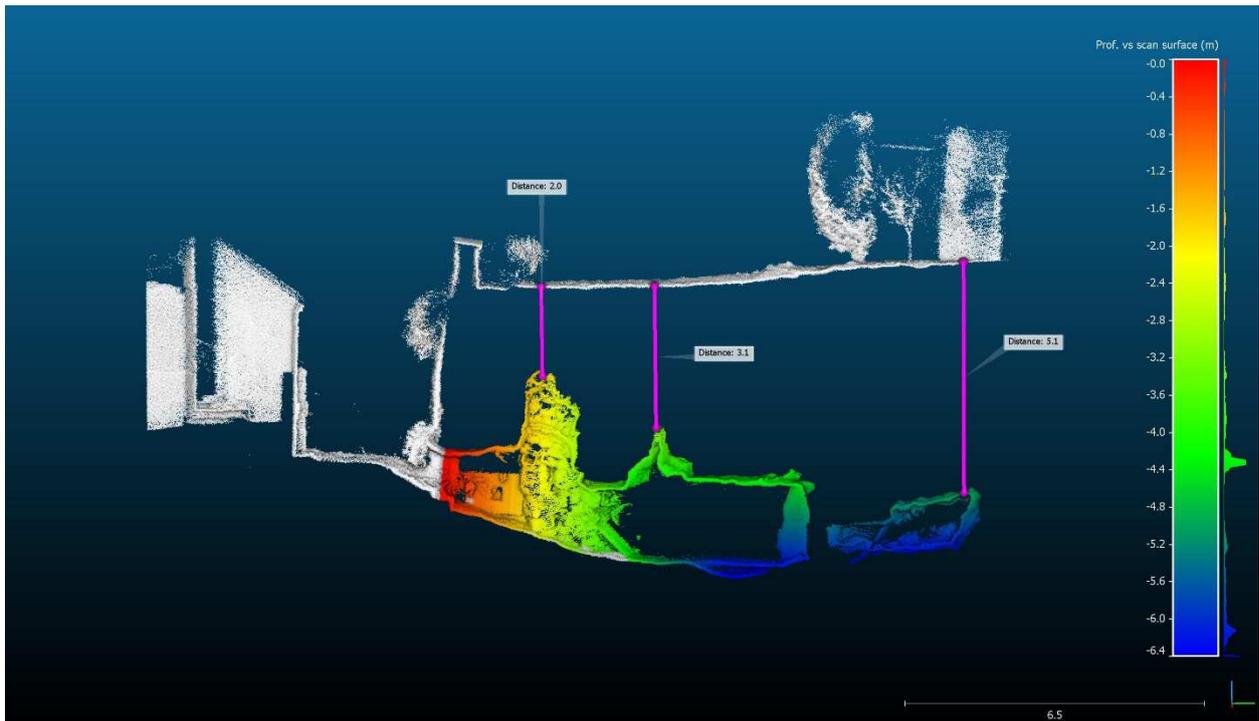


Illustration 36 – Vue en coupe Nord-Sud de la cavité n°19 (deux remontées de fontis observées dont une à travers une fracture ouverte ; code couleur : profondeur des ouvrages souterrains – rouge/orange : faible profondeur, vert/bleu : profondeur plus importante)

5. Recommandations

5.1. RECOMMANDATIONS D'ORDRE GENERAL

La configuration de certains secteurs souterrains a abouti à évaluer des aléas mouvements de terrain en surface atteignant par endroits des niveaux allant de moyen à fort, voire très fort. Sans avoir été ici jusqu'à une évaluation du risque, ces niveaux d'aléa paraissent, en l'état et à certains endroits, non compatibles avec la sécurité des biens et des personnes. Des mesures de sécurisation sont donc à prévoir, certaines étant à envisager rapidement, d'autres pouvant être effectuées à plus long terme.

Cette sécurisation progressive pourra se matérialiser via un plan d'action qui sera à élaborer de manière concertée avec les différentes parties prenantes : services de l'Etat, commune, propriétaires et gestionnaires concernés.

La première mesure à mettre en œuvre consiste à intégrer dès que possible la présente étude dans la connaissance locale du risque (en l'annexant par exemple au PLU⁸ de la commune) et à la diffuser aux personnes concernées : propriétaires, exploitants et gestionnaires des parcelles situées dans l'emprise des zones d'aléa. Les éventuels prestataires intervenant pour le compte de ces entités et qui pourraient être concernés par ces aléas devront également en être informés. Il conviendra tout particulièrement de le faire en cas d'étude de sol en vue d'aménagements : ces études de sol devront prendre en compte l'ensemble du présent rapport.

5.2. RECOMMANDATIONS SPECIFIQUES

Compléter la présente étude et évaluer les risques permettrait de préciser les actions à mettre en œuvre, en les mettant en particulier en adéquation avec les enjeux concernés. Cela passerait notamment par des compléments d'étude portant sur les diagnostics (notamment par un passage à un diagnostic de niveau 2, voire 3 sur certains sites) et sur l'évaluation de la vulnérabilité des enjeux. Les carrières et secteurs concernés par ces mesures sont détaillés ci-après, avec les recommandations possibles à ce stade. La réalisation de ces compléments devra être confiée à des spécialistes du domaine et effectuée conformément aux règles de l'art. On citera ici deux références principales à ce sujet (disponibles gratuitement en ligne) :

- Cerema (2017). La gestion du risque cavités souterraines – Guide à l'usage des collectivités, accessible au lien suivant : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/publication-gestion-du-risque-cavites-souterraines-guide>
- Ineris (2016). Guide sur les solutions de mise en sécurité des cavités souterraines abandonnées d'origine anthropique, accessible au lien suivant : <https://www.ineris.fr/fr/guide-solutions-mise-securite-cavites-souterraines-abandonnees-origine-anthropique>

⁸ Plan Local d'Urbanisme

5.2.1. Mesures de sécurisation à envisager rapidement (quelques mois)

Les accès

Les accès non sécurisés représentent un risque pour les personnes. Les éventuels visiteurs (autorisés ou intrus) peuvent non seulement se perdre dans les cavités les plus grandes mais également être mis en danger, en particulier s'ils ne sont pas formés aux mesures de sécurité spécifiques au milieu souterrain.

Sécuriser ces accès passe dans l'idéal par la pose de portes aux entrées. La mise en place de ces portes comporte vraisemblablement la nécessité (voire l'obligation réglementaire) de laisser aux chiroptères un accès permanent à ces cavités. Limiter les risques pour ce qui concerne ces accès peut aussi être envisagé de manière plus simple, via par exemple la pose de clôtures, l'affichage de panneaux d'interdiction, etc., mais ces mesures ne permettraient a priori pas d'exclure totalement les intrusions.

Selon les observations du BRGM, la visite de certains secteurs paraît périlleuse. Les personnes qui seraient amenées à y accéder devront être informées des risques encourus et formées aux mesures de sécurité spécifiques au milieu souterrain. Il s'agit ici en particulier de l'ensemble des cavités n°9 (chemin de Thimet), n°19 (face à l'école élémentaire) et n°38 (hangar de l'école) et, pour les quatre cavités objet principal de la présente étude (7, 23, 4-5-15 et 1), des secteurs affectés de niveaux d'aléa fort et très fort. Pour les cavités n°7, n°23, n°9 et n°19, le plus simple pouvant être d'en restreindre l'accès aux seuls spécialistes. Au regard des enjeux forts potentiellement en présence au-dessus de la cavité n°38 (école élémentaire), une visite devra être réalisée afin d'évaluer la stabilité de la cavité et de prendre les mesures de sécurisation qui s'imposent.

Les zones en aléa fort à très fort

Pour ce qui concerne les quatre cavités objet principal de la présente étude (7, 23, 4-5-15 et 1), les emprises en surface concernées par des aléas fort à très fort devraient faire l'objet d'attentions particulières :

- Au niveau de la carrière 23, la remontée de fontis observée dans la galerie d'accès (aléa très fort) se situe à l'aplomb d'une maison. La stabilité de cette remontée de fontis, même si elle ne semble pas remise en cause de manière imminente, pourrait l'être à court ou moyen terme (dans les années qui viennent), ce qui présente donc des risques pour la maison et ses occupants (en cas de mouvements de terrain : chute et mise en péril du bâtiment). Conforter ce secteur pourrait être réalisé par exemple via le comblement, par le fond, de la cloche de fontis avec la mise en place préalable d'une voûte maçonnée, à réaliser selon les règles de l'art ;
- Pour les autres secteurs en aléa fort à très fort, des compléments à la présente étude sont à prévoir pour préciser le diagnostic, plus particulièrement sur la vulnérabilité des enjeux en surface, et définir si nécessaire des mesures adaptées. Les zones potentiellement problématiques sont les suivantes :

- Carrière n°7 :
 - Le secteur Sud-Est de la carrière qui présente des signes d'instabilités importants, liés à la présence de manifestations karstiques. En cas d'aménagement futur des parcelles sus-jacentes, un confortement ou un comblement partiel en souterrain pourra être envisagé ;
 - La partie Nord du chemin Thimet qui se situe à l'aplomb d'une zone souterraine où la configuration des piliers est telle qu'elle est affectée d'un aléa fort ;
- Carrière n°23 : Le secteur de la rue du Haut situé à l'aplomb d'un des deux puits d'aération ;
- Carrière n°4-5-15, deux secteurs affectés d'un aléa fort : un vide à l'entrée et le puits dont le débouché en surface est proche d'un bâtiment (dépendance).

Les autres emprises en surface concernées par ces niveaux d'aléa fort à très fort semblent être constituées de jardins, de friches ou de parcelles agricoles et présentent donc a priori moins de risques vis-à-vis des biens et des personnes. Cependant, une surveillance de l'évolution des instabilités constatées dans la carrière devra être mise en place ainsi que des visites des parcelles concernées en surface afin de constater d'éventuelles déformations des terrains (mouvements de terrain).

Pour tous ces secteurs (aléa fort à très fort), des mesures visant à limiter ou a minima à sécuriser d'éventuels aménagements à venir seraient à inclure aux documents d'urbanismes.

Les zones en aléa moyen à faible

Pour les secteurs en aléa moyen et ceux en aléa faible (par extension et dans un souci de simplification à donner aux mesures à mettre en œuvre à ce stade), des mesures sont également à envisager. Il s'agirait a minima d'organiser une surveillance de ces secteurs, via des inspections visuelles menées à intervalle régulier et renforcées en cas de fortes pluies ou d'autres anomalies (éventuelles fuites de réseaux, nouvelles instabilités rapportées, etc.). La fréquence initiale pourra être d'une visite par an et par cavité. Elle pourra être revue, à la hausse ou à la baisse, en fonction des observations réalisées sur les premières années. Ces visites devront être confiées à des spécialistes ou à des personnes sensibilisées au sujet et faire l'objet d'une procédure simple, mais adaptée. On prévoira notamment :

- 1) Un état des lieux initial se basant sur les résultats de la présente étude, avec une série de photographies permettant de rendre compte de l'état des cavités en général et de celles des zones instables en particulier ;
- 2) Un suivi dans le temps de l'état des cavités. Une éventuelle évolution notable entre deux visites devra faire l'objet d'un compte-rendu immédiat aux autorités compétentes (mairie notamment) et donner lieu si besoin à un diagnostic affiné de stabilité, voire à des mesures de sécurisation s'il y a lieu.

La cavité n°1 est creusée sous la RD 973. Même si son état n'est actuellement pas critique, sa situation vis-à-vis de cet enjeu particulier implique une gestion renforcée. La surveillance de cette cavité pourrait par exemple être réalisée en concertation avec le gestionnaire de la route (voire lui être confiée), à savoir le Conseil Départemental.

Par ailleurs, une maison a récemment été construite sur la parcelle AB0473 (6 chemin de Thimet), dans une zone d'aléa effondrement localisé identifié en partie comme moyen. A ce stade, les fondations de la maison ne sont pas connues. Leur compatibilité avec la présence d'une cavité sous-jacente devra être vérifiée (radier ou fondations profondes type pieux).

Les incertitudes sur l'extension possible des cavités

Même si la cartographie des quatre cavités objet principal de la présente étude est désormais très détaillée, elle présente des zones incertaines, en raison notamment d'accès rendus impossibles ou très difficile du fait d'anciens mouvements ou de remblaiements. Les aléas à ces niveaux n'ont pas pu être évalués, mais les cartes d'aléa présentent ces zones incertaines (figuré « ? »). Ces zones doivent être gardées en mémoire, en particulier en cas d'éventuels projets d'aménagements en surface. Le cas échéant, des investigations spécifiques devront être mises en œuvre de manière à diminuer ces incertitudes : il convient ainsi d'envisager que ces zones incertaines pourraient être vides et qu'elles pourraient même donner accès à des extensions encore non connues des cavités concernées. Les investigations à prévoir à ce sujet seront à mettre en œuvre depuis la surface du sol. Le choix des techniques et le programme précis de telles investigations devront faire l'objet d'une réflexion adaptée à la configuration et aux enjeux considérés (prévoir la combinaison de méthodes de type géophysique et géotechnique).

5.2.2. Compléments d'étude

Dans le cadre de la présente étude, l'évaluation de l'aléa a été réalisé sur quatre cavités. Selon les observations du BRGM, d'autres cavités nécessitent une étude analogue, en particulier les sept carrières cartographiées lors de la visite du BRGM et qui présentent des signes évidents d'instabilités.

Préciser le diagnostic de niveau 1 réalisé ici pour quatre carrières nécessite la réalisation complémentaire de diagnostics de niveaux 2 voire 3. En première approche, de tels diagnostics pourraient concerner :

- Tout ou partie des carrières 7, 23, 4-5-15 (car concernées par des secteurs en aléa fort à très fort, avec des enjeux en surface) ;
- La carrière 1 (aléa moyen mais concernant la RD 973).

Compléter les diagnostics présentés ici pour passer à des diagnostics de niveaux 2 voire 3, nécessite de préciser les caractéristiques géotechniques des terrains concernés, notamment par le prélèvement d'échantillons en place et la réalisation d'essais en laboratoire, a minima de type « résistance à la compression simple ».

6. Bibliographie

Arnal C. (1996) – Inventaire des dangers liés aux cavités souterraines dans le département de l'Aisne. Rapport BRGM/RR-38703-FR, 39 p., 5 fig., 10 tbl., 1 pl., 3 ann.

Benoit P., Blanc A., Gély J.P., Guini-Skliar A., Obert D., Viré M. (2000) – La pierre de Paris. Méthode d'étude de la pierre à bâtir depuis son extraction jusqu'à sa mise en œuvre. La pierre dans la ville antique et médiévale. Actes du colloque d'Argentomagus Tours : Fédération pour l'édition de la Revue archéologique du Centre de la France, 121-158, 39 p.

Caous J.Y., Louis C. avec la collaboration de Clouard et Piraud (1973) – Analyse de la stabilité de l'ancienne carrière souterraine des « Fonds de Dampleux » à Dampleux (Aisne). Rapport BRGM/73-SGN-054-AME, 35 p, 6 fig., 5 ann.

Devos A., Chalumeau L., Fronteau G., Sosson C., Turmel A., Lejeune O. (2011) – La fantômisiation des calcaires lutétiens du Bassin de Paris. Apport des carrières souterraines. Karstologia : revue de karstologie et de spéléologie physique, n° 58, 2^e semestre, 15-28, 13 p.

Jacob T., Beaubois F., Maurice B. (2017) – Détection de cavité par microgravimétrie au niveau de la route de Compiègne à Taillefontaine (02). Rapport final. Rapport BRGM/RP-66977-FR.

GEODERIS (2012). Guide pratique pour l'homogénéisation des études détaillées des aléas miniers – Volet « effondrement localisé ». N2012/01DE – 12NAT2210.

Hannion Y. (2019) – Compte-rendu de visite de la carrière sise au n° 18 Grande rue. Avis sur la stabilité de la cavité. Courrier DAT/CNE/GRE/REI-c19.087. Appui aux Administrations.

Hannion Y. (2017) – Compte-rendu de visite suite à la découverte d'une cavité sur la RD973 à Taillefontaine (02). Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-66778-FR.

IFSTTAR (2014). Guide Technique – Le diagnostic de stabilité des carrières souterraines abandonnées – Guide méthodologique.

INERIS - LCPC (2007). Guide technique – Mise en sécurité des cavités souterraines d'origine anthropique : Surveillance - traitement.

MEZAP (2014). Guide technique – Méthodologie de cartographie de l'aléa rocheux.

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie. (2012). Guide méthodologique – Plan de prévention des risques naturels – Cavités souterraines abandonnées.

Mouron R. (1987) – Taillefontaine (Aisne). Examen visuel de la stabilité d'une ancienne carrière souterraine située sous la propriété de Monsieur ROLLANDO. Note BRGM/SGR-PIC 87/38, 7 p.

Pannet P., Fremont M., Mallard P. (2013) – Inventaire départemental des cavités (hors mines). Département de l'Aisne (02). Rapport final. Rapport BRGM/RP-62183-FR. 74 p., 10 ill., 5 ph., 2 ann., 1 CD.

Pannet P., Merle C., Montant B. (2010) – Inventaire des mouvements de terrain du département de l'Aisne. Rapport final. Rapport BRGM/RP-59179-FR. 73 p., 14 ill., 6 tbl., 2 ann.

Annexe 1

Courrier de la mairie aux riverains dans le cadre de l'enquête communale (N/Réf : 35/2018)

Et exemple de fiche associée à renseigner pour le recensement des cavités

MAIRIE de TAILLEFONTAINE

1 grande Rue

02600 TAILLEFONTAINE

Tél. 03.23.96.11.84

Courriel : mairie-taillefontaine@wanadoo.fr

Ouverture du secrétariat le mardi et le mercredi

T

Taillefontaine, le 13 Août 2018

N/Réf. : 35/2018

Madame, Monsieur,

Par la présente, nous avons l'honneur de vous convier à une réunion d'information qui se tiendra le mercredi 5 septembre à 18 heures dans la salle communale en vue du lancement de l'établissement d'une carte des cavités souterraines présentes sur le territoire de la commune de Taillefontaine.

Notre commune, comme toute collectivité locale, est chargée notamment de s'assurer de la mise en sécurité des biens et des personnes sur son territoire.

En janvier 2017, le BRGM, Bureau de Recherche Géologiques et Minières, Etablissement Public Industriel et Commercial, a été sollicité par les services de la Préfecture de l'Aisne pour réaliser un diagnostic de risques suite à l'apparition d'une cavité constatée sous la RD973. A l'issue de ce diagnostic, le BRGM a recommandé de réaliser une étude approfondie de stabilité et d'emprise des cavités sur toute l'étendue du village, et d'en faire un inventaire complet.

C'est pourquoi nous allons lancer prochainement cette étude, financée à hauteur de 20 % par notre commune, 30 % par le fonds de prévention des risques majeurs (FPRNM) dit « fonds Barnier », 30% par le Conseil Départemental, et une participation de 20 % du BRGM lui-même.

Chacun devra informer la Mairie de la présence de cavités au sein de sa propriété au sens large (sous la maison, dépendances, terres et jardins), au nom de 3 des principes fondamentaux listés à l'article L 110-1 du Code de l'Environnement :

-le principe de précaution « **selon lequel l'absence de certitudes compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable** ».

-le principe d'action préventive et de correction « **par priorité à la source, des atteintes à l'environnement, en utilisant les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable** ». Cela nécessite d'intégrer en particulier la prise en compte du risque à l'amont des démarches de planification ou de préserver les secteurs naturels exposés à un risque pour ne pas créer de vulnérabilité, ou d'assurer la sécurité des personnes en zones de risque.

Page 1

-le principe de participation :

« selon lequel chacun a accès aux informations relatives à l'environnement, y compris celles relatives aux substances et activités dangereuses, et le public est associé au processus d'élaboration des projets ayant une incidence importante sur l'environnement ou l'aménagement du territoire ».

Cela peut se traduire par la communication des données relatives aux risques.

Pour les cavités, ce principe de participation repose également sur une obligation de tout un chacun de révéler l'existence de toute cavité souterraine connue :

Article L563-6-II du code de l'environnement :

« toute personne qui a connaissance de l'existence d'une cavité souterraine ou d'une marnière dont l'effondrement est susceptible de porter atteinte aux personnes ou aux biens, ou d'un indice susceptible de révéler cette existence, en informe le maire, qui communique, sans délai, au représentant de l'Etat dans le département et au président du conseil général les éléments dont il dispose à ce sujet ».

Vous trouverez ci-joint un « bulletin-réponse » à remettre à la mairie ou à déposer dans la boîte aux lettres de celle-ci.

Je vous remercie pour votre attention et pour votre participation future à cette étude, et vous prie de recevoir mes sincères salutations.

Le maire
G Kubicki



10

Commune de TAILLEFONTAINE 02600 Tél. 03.21.96.11.84 les mardi à mercredi

CARTOGRAPHIE DES CAVITES SOUTERRAINES

Référence de la lettre de la mairie : n° _____ du _____

Monsieur, Madame NOM : ANONYME Prénom : _____

ADRESSE

- Participera à la réunion mais n'a pas connaissance de cavité sur ou à proximité de sa parcelle
- Participera à la réunion et a connaissance de cavité sur ou à proximité de sa parcelle.
Informera le BRGM le 05 septembre 2018
- Ne participera pas à la réunion et n'a pas connaissance de cavité sur ou à proximité de sa parcelle.
- Ne participera pas à la réunion mais a connaissance de cavité sur ou à proximité de sa parcelle.

Localisation de la cavité ; mettre une croix visible sur le plan pour visualise le lieu

ADRESSE

N° de parcelle si vous la connaissez _____
Surface estimée _____ m²

Feuille réponse à retourner à la mairie SVP

Annexe 2

Détails sur la méthode d'évaluation de l'aléa effondrement localisé choisie dans le cadre de la présente étude

Aléas retenus et phénomènes redoutés

L'effondrement localisé est le principal aléa retenu dans l'étude des cavités souterraines présentes sur la commune de Taillefontaine. Cet aléa peut résulter de plusieurs phénomènes :

- La rupture d'un ou de plusieurs piliers ;
- La montée de fontis par rupture du ciel de la carrière ;
- La rupture d'une colonne ou de la tête d'un puits.

Un autre aléa a été retenu concernant les entrées en cavage et le front de taille, l'aléa chute de pierres et de blocs.

Méthodes d'évaluation de la prédisposition à la rupture

- **Evaluation de la stabilité des piliers**

L'évaluation de la stabilité des piliers est basée sur :

- les observations réalisées en souterrain dans le cadre de cette étude, qui ont permis d'attribuer un état de stabilité propre à chacun des piliers (E_p) ;
- le modèle de l'aire tributaire (méthode calculatoire), considérant les contraintes apposées à chacun des piliers et permettant de calculer un facteur de sécurité (F_s) vis-à-vis des mécanismes de rupture.

Le guide IFSTTAR (2014) détaille cette méthode de calcul (chapitre 5, paragraphe 1.3). Il s'agit en premier lieu de calculer la contrainte verticale théorique moyenne n exercée sur les piliers en fonction du poids des terrains de recouvrement et du taux de défrètement de la carrière dans cette zone :

$$\sigma_n = YH / (1 - \tau)$$

avec

Y = poids volumique apparent du recouvrement (kN/m^3)

H = hauteur de recouvrement (m)

τ = valeur du taux de défrètement (surface des vides / surface totale)

Cette contrainte normale théorique (σ_n) est ensuite mise en relation avec les caractéristiques mécaniques moyennes des formations exploitées afin de définir un facteur de sécurité (F_s).

S'agissant d'un diagnostic de niveau 1, aucun essai mécanique n'a été réalisé dans les cavités de Taillefontaine. Les propriétés mécaniques des matériaux exploités ont été évalués à partir d'essais issus de la bibliographie et réalisés dans des carrières présentes dans un rayon de 22 km autour de Taillefontaine dans un contexte similaire. La principale caractéristique retenue est la résistance à la contrainte (R_c , résistance à court terme). La bibliographie donne une valeur de R_c autour de 36 bar. Un coefficient de correction est ensuite appliqué à cette valeur pour prendre en compte le vieillissement le fluage de la roche. Pour des calcaires compacts, ce coefficient est de 1,2 à 1,5. Dans le cadre de la présente étude, le facteur le plus sécuritaire, à savoir 1,5, a été retenu. On obtient alors une résistance ultime à la contrainte (R_u , résistance à long terme) avec :

$$R_u = R_c / 1,5 \text{ soit } 36 / 1,5 = 24 \text{ bar}$$

Le facteur de sécurité F_s s'obtient alors avec la formule suivante :

$$F_s = R_u / \sigma_n$$

Si un coefficient de sécurité est appliqué à la résistance à la contrainte, il est admis que la stabilité est assurée pour un pilier donné lorsque que son F_s est supérieur à 1. Dans le cas contraire, la stabilité est assurée lorsque F_s est supérieur à 1,5.

Afin d'avoir un rendu cartographique homogène, les données issues des observations et ceux obtenues par le calcul ont été croisées. Trois classes de prédisposition ont été créées pour chacun des deux critères (Tab. 2).

Etat des piliers (E_p)	Facteur de sécurité (F_s)		
	$F_s > 1,5$	$1,5 > F_s > 1$	$F_s < 1$
E_p sain (ou fracturé)	faible	moyenne	moyenne
E_p précaire	moyenne	moyenne	forte
E_p très précaire	forte	forte	forte

Tableau 3 – Matrice d'évaluation de la stabilité des piliers

• **Evaluation de la stabilité au toit**

La stabilité au toit a principalement été évaluée à partir des observations réalisées dans le cadre de cette étude. Les différentes remontées de fontis et chutes de toit existantes ont été étudiées. L'évaluation de la stabilité au toit dépend de plusieurs critères :

- Le type des phénomènes observés (cloches de fontis, fontis découpés à l'emporte-pièce, chutes de toit) ;
- Leurs dimensions (principalement diamètre et hauteur de remontée) ;
- Les éventuels indices d'activité (blocs au sol).

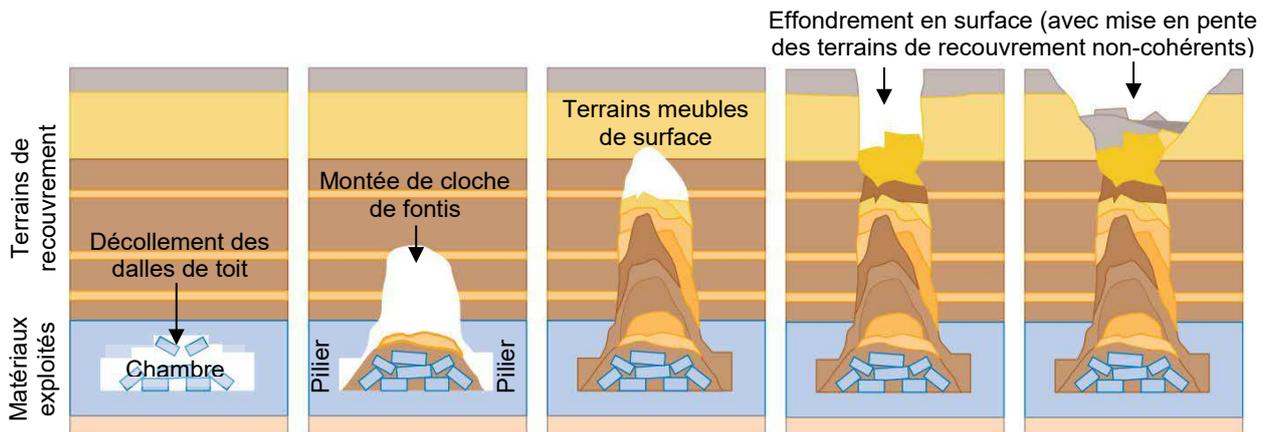


Illustration 37 – Schéma d'évolution d'un fontis (modifié d'après IFSTTAR, 2014)

Hiérarchisation de l'intensité

L'intensité a été évaluée en suivant le guide du MEDDE (2012) qui s'intéresse au diamètre de l'effondrement attendu en surface (D). On obtient alors la matrice suivante :

Diamètre effondrement (D)	Intensité
D < 3 m	limitée
3 < D < 10 m	modérée
D > 10 m	élevée

Tableau 4 – Matrice de hiérarchisation de l'intensité

Dans le cadre de la présente étude, il a été admis une épaisseur de terrains de recouvrement non-cohérents de surface de 2 m (éléments issus de la bibliographie, des sondages Fondasol (2014) et des sondages issus de la BSS). Ainsi, en considérant un angle de talus naturel de ces terrains égal à 45°, on obtient *a minima* un effondrement de 4 m de diamètre, soit une intensité élevée. Ce critère a été retenu pour les carrières 7, 23 et 4-5-15. En terme de cartographie, une zone tampon (angle d'influence) de 2 m a été ajouté autour des différentes classes afin de prendre en compte l'effet induit par les terrains non cohérents de surface.

Par ailleurs, au regard du faible recouvrement au-dessus de la carrière n°1 (2 m), il n'a été considéré qu'1,5 m de terrains non-cohérents (soit un diamètre de 3 m *a minima* donc une intensité modérée du phénomène en surface ; en terme de cartographie, un tampon d' 1,5 m a été considéré dans ce cas).

Evaluation de l'aléa effondrement localisé par montée de voûte

L'évaluation de l'aléa s'est effectuée en croisant la prédisposition à la rupture et l'intensité du phénomène attendu en surface. L'intensité étant dans tous les cas *a minima* modérée (diamètre de l'effondrement attendu en surface de 3 m et plus), la matrice de hiérarchisation de l'aléa a été adaptée en conséquence afin de respecter un critère de trois niveaux d'aléa. Un niveau d'aléa faible a donc été attribué à une zone dans laquelle la prédisposition à la rupture est faible mais où l'intensité est modérée (Tab. 5).

Intensité	Prédisposition à la rupture		
	Faible	Moyenne	Forte
Modérée	faible	moyen	fort
Elevée	moyen	fort	très fort

Tableau 5 – Matrice de hiérarchisation de l'aléa

La cartographie de l'aléa concernant les terrains de surface, une attention particulière a été portée aux incertitudes suivantes :

- Le contour des vides : les données levées au ZEB ont une résolution centimétrique. La dérive de ces mesures peut atteindre jusqu'à 0,5 m ;
- Le report cartographique : en lien avec le support utilisé, à savoir le fond cadastral. Une incertitude d'1 m peut ici être considérée.

Ces incertitudes sont ensuite traduites en termes de marges de sécurité à appliquer à l'aléa final. Ainsi, un tampon d'1,5 m a été appliqué autour de chaque classe d'aléa en terme de cartographie.

• **Cas particulier des puits**

La rupture d'une colonne de puits (vide) ou d'une tête de puits est un phénomène particulier. L'évaluation de l'aléa associé à la présence d'un puits a été appréciée en suivant le guide GEODERIS (2012).

La prédisposition à la rupture dépend de deux facteurs :

- la prédisposition au vide (dans la colonne de remblais) ;
- la prédisposition à la rupture de la tête de puits.

Dans le cadre de la présente étude, la prédisposition au vide est très sensible car les puits ne sont pas remblayés (puits vides). Dans ce cas, la prédisposition à la rupture de la tête de puits est également très sensible.

Comme pour les montées de voutes, l'intensité est dépendante du diamètre de l'effondrement attendu en surface. Par exemple, en ce qui concerne la carrière 7, les trois puits ont un diamètre de 1,2 m à 1,4 m. En considérant un rayon de cône d'effondrement (R_c) de 2 m (estimé à partir de l'épaisseur des terrains meubles de surface et de l'angle de talus naturel), l'intensité est alors modérée (Illustration 27).

Enfin, l'aléa effondrement localisé associé à un puits a été évalué en croisant la prédisposition à la rupture (considérée comme très sensible ou forte) et l'intensité (considérée comme modérée). Ainsi, l'aléa résultant est fort. De la même manière que pour les phénomènes précédents, une marge d'incertitude (M_i ou marges de sécurité) s'ajoute à la cartographie de l'aléa.

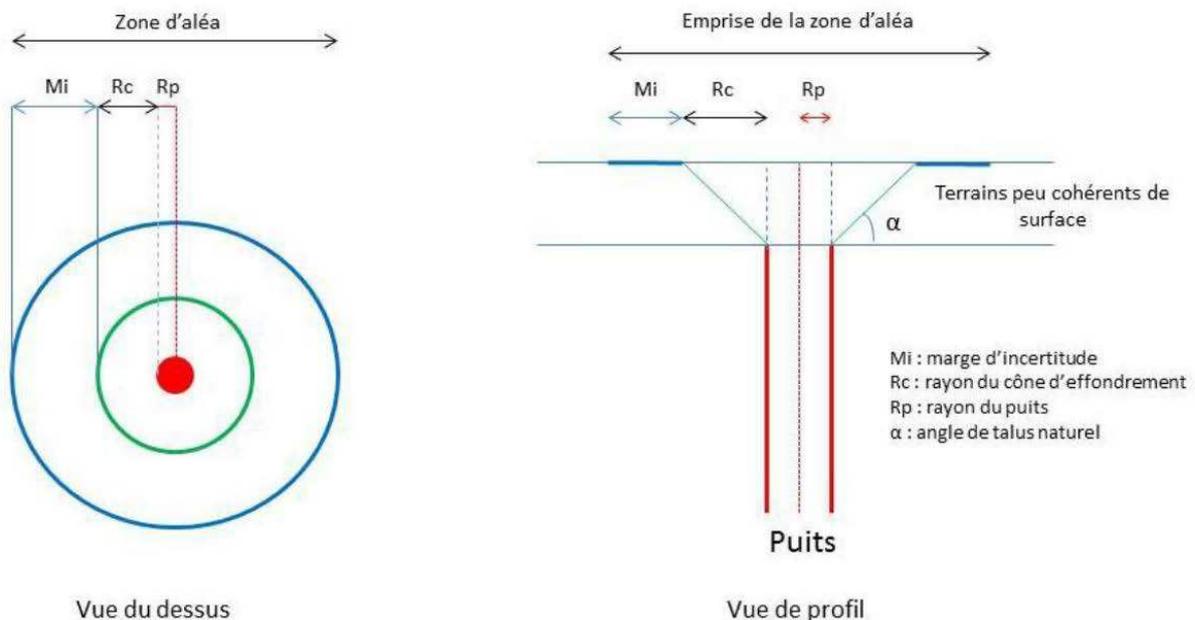


Illustration 38 – Aléa effondrement localisé associé à un puits avec présentation des notions de cône d'effondrement (R_c , considéré dès la cartographie de l'intensité) et de marge d'incertitude (M_i , considéré à la cartographie finale de l'aléa) (GEODERIS, 2012)

- **Cas particulier des entrées et du front de taille**

Concernant le front de taille, celui-ci présente un risque lié à la chute de pierres et de blocs, voire d'éboulement de plus grand volume. L'aléa chutes de pierres et de blocs a été évalué suivant le guide MEZAP (2014).

La probabilité d'occurrence de ces phénomènes, en particulier en ce qui concerne l'éboulement, est difficile à évaluer pour les raisons suivantes :

- le front de taille est actuellement masqué par une végétation dense, ce qui limite fortement l'observation ;
- il n'existe pas, à notre connaissance, d'historique des éventuels mouvements de ce type ayant pu survenir dans le secteur ;
- il n'est actuellement pas possible d'évaluer en profondeur la densité et l'ouverture des fractures dans le massif rocheux.

L'évaluation des aléas liés à ces phénomènes se base sur une série d'hypothèses et de simplifications qui, à titre de précaution, sont alors volontairement sécuritaires. Cette évaluation pourra, si besoin, être précisée via un complément d'étude (celui-ci nécessitera des efforts particuliers pour améliorer l'observation de la zone à risque) (voir le paragraphe Recommandations).

Les fronts rocheux considérés sont uniquement ceux dans lesquels se trouvent les entrées de carrières. L'ensemble des fronts est considéré comme homogène à tout point de vue (géologique, structural, morphologique, etc.).

Le volume des éléments pouvant s'effondrer est estimé dans la classe $< 0.05 \text{ m}^3$, voire dans la classe supérieure ($< 0,25 \text{ m}^3$). Les classes d'intensité sont respectivement « très légères » à « légères » et indiquent les dommages possibles suivants :

- Intensité très légère : « peu ou pas de dommage au gros œuvre. Les personnes ne sont généralement pas en danger à l'intérieur des bâtiments, mais le sont à l'extérieur. » ;
- Intensité légère : « Peu de dommage au gros œuvre. Blessures possibles aux personnes, décès peu probables. ».

L'absence totale d'information quant à la fréquence de mouvements de ce type est davantage problématique. L'indice d'activité est alors fixé sur la base de notre expérience dans des contextes similaires. Il est retenu comme « moyen », ce qui correspond à une probabilité de départ d'un élément rocheux tous les 10 ans.

Concernant la distance de propagation de ces éléments :

- Les zones à partir desquelles ces blocs peuvent se détacher sont volontairement simplifiées et retenues comme se situant à la crête des fronts rocheux considérés ;
- La hauteur de ces fronts rocheux est maximisée sur toute la zone considérée et retenue égale à $H = 8 \text{ m}$;
- La distance à laquelle ces éléments peuvent se propager est calculée suivant un angle d'énergie de $\alpha = 26^\circ$;
- La morphologie des fronts de taille et de leur environnement est considérée comme : verticale pour les fronts de taille et horizontale pour les zones en contrebas.

Avec ces hypothèses, la distance L de propagation des éléments (depuis le front rocheux) est :

$$D = H / \tan \alpha, \text{ soit } D = 8 / \tan 26 = 16 \text{ m}$$

Concernant la probabilité de propagation :

- Même si ces secteurs sont végétalisés, aucun obstacle à la propagation des éléments n'est ici considéré ;
- La probabilité de propagation est retenue sur la base de notre expérience comme forte à très forte.

Etant donné l'indice d'activité considéré (moyen) et la probabilité de propagation (forte), la probabilité d'atteinte (suivant le tableau 6.6 du guide) est de niveau moyen à fort.

Le croisement final de l'intensité (très légère à légère) et de la probabilité d'atteinte (moyen à fort) aboutit à retenir un aléa de niveau faible à moyen. Le choix a été fait de retenir un aléa moyen.

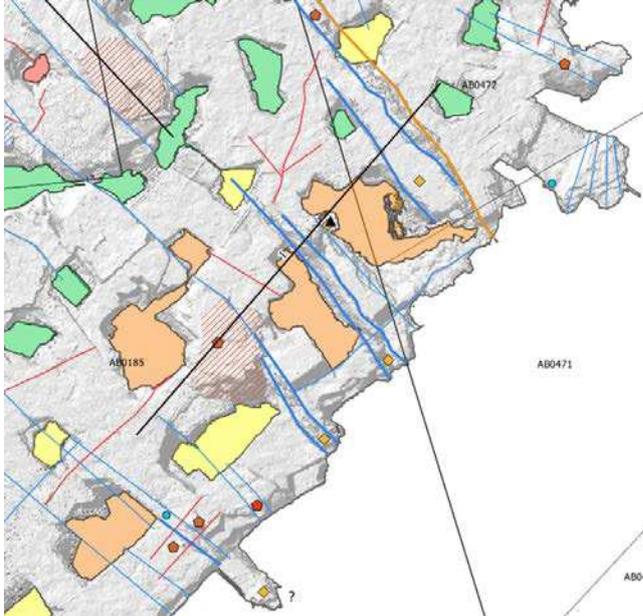
Pour ce qui concerne l'aléa recul de la tête de falaise, il a été fait le choix de considérer un demi de la hauteur du front de taille. Cette donnée est variable le long d'un même talus. Dans cette étude, le choix a été fait de considérer une hauteur uniforme sur tout le front de taille (dans un secteur donné). Il s'agit d'une première approche (diagnostic de niveau 1), qui pourra être précisée dans le cadre d'études complémentaires si besoin. Pour cela, il conviendra de cartographier précisément la configuration du talus, cela nécessitera de connaître également la hauteur du talus. Cela nécessitera un travail de géomètre et une inspection visuelle du talus.

Annexe 3

Représentation (en figures et en coupes) des principales instabilités constatées dans la cavité n°7 à l'aide des données en 3D issues des levés ZEB

Cavité n°7 (PICA0020015)

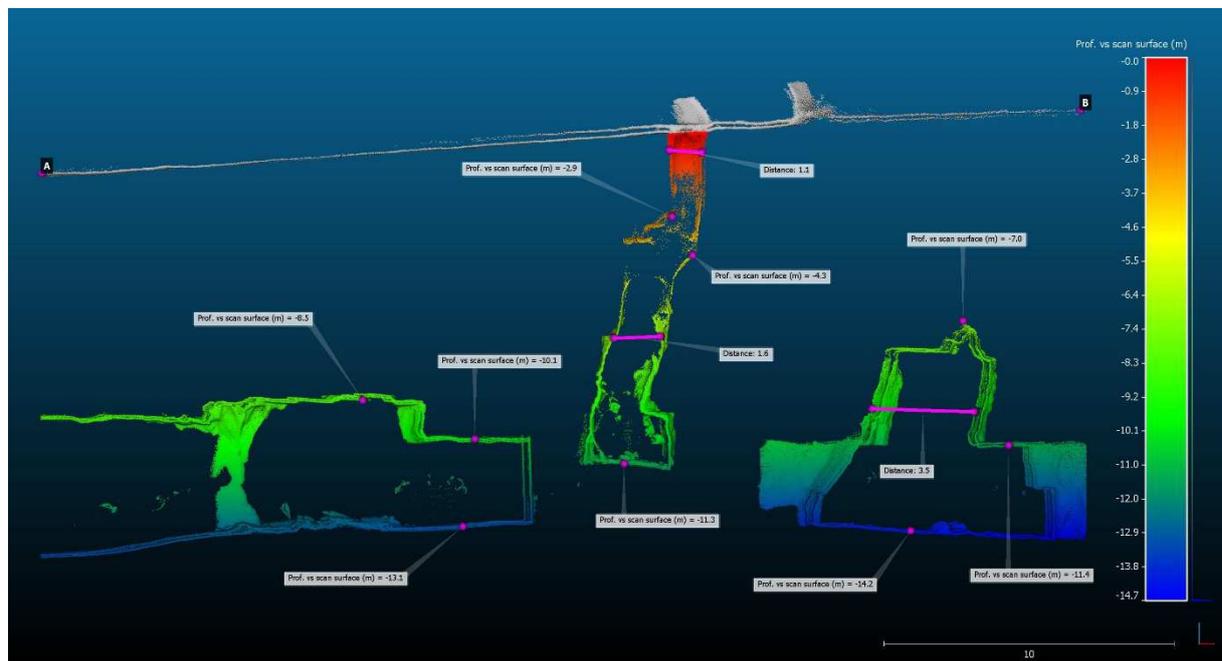
- Secteur Sud-Est -

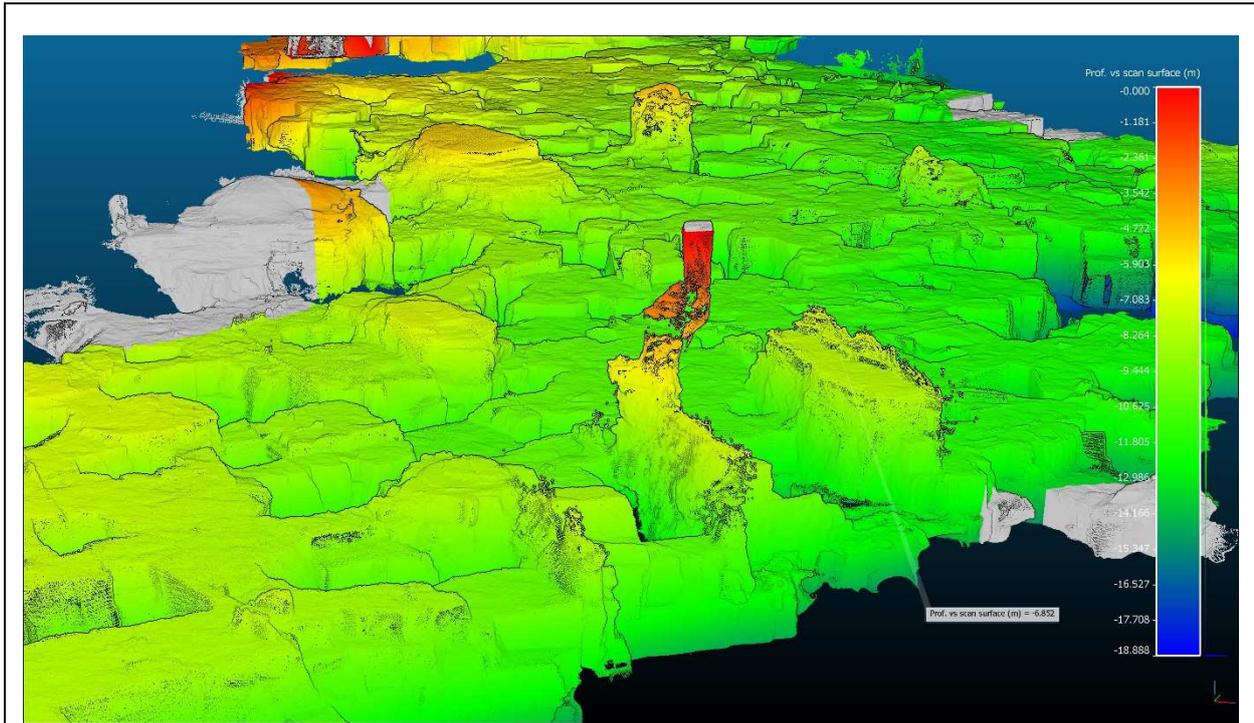


Coupe 1 (NE-SO)

Ce secteur présente plusieurs piliers à l'état précaire, découpé par de longues et larges diaclases d'origine karstiques. C'est en effet dans ce secteur qu'a été relevé le plus de formes karstiques :

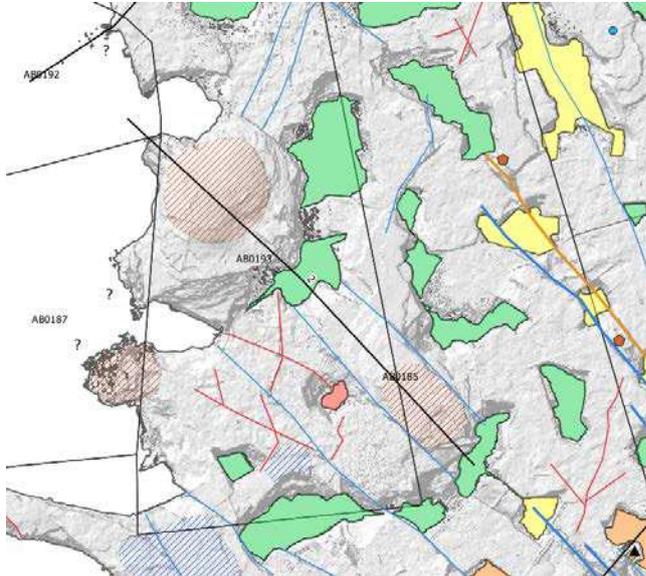
- Une cheminée karstique reprise en puits dans sa partie supérieure (maçonnée) ;
- De grandes fractures ouvertes avec parfois un remplissage argileux ;
- Des montées de voûte de type cloche de fontis ou à l'emporte-pièce (contraintes par des fractures).





Cavité n°7 (PICA0020015)

- Secteur Sud-Ouest -



Coupe 2 (NO-SE)

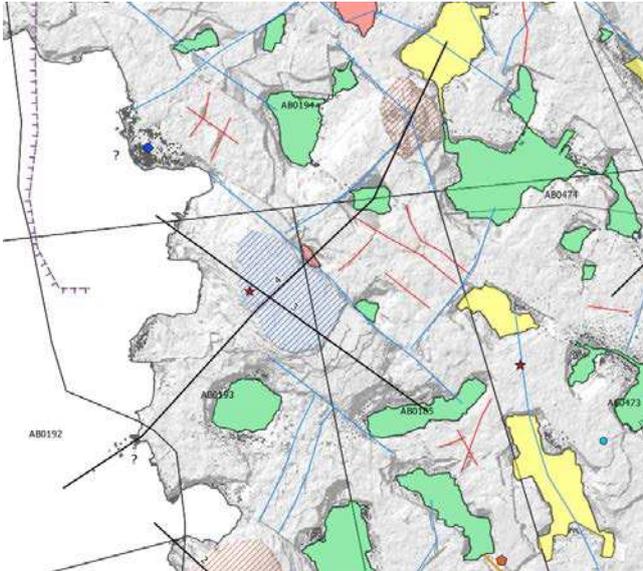
Ce secteur présente deux montées de voûtes remarquables. La première, au Nord-Ouest, remonte sous forme de cloche de fontis tandis que la seconde, au Sud-Est, est contrainte par des fractures et remonte à l'emporte-pièce (décollement de dalles de toit successives).

Elles sont toutes deux de diamètres importants (7-8 m) et peuvent alors générer des effondrements en surface d'un diamètre supérieur à 10 m (intensité élevée). La première montée de voûte ne se situe d'ailleurs qu'à un peu plus de 3 m de profondeur.



Cavité n°7 (PICA0020015)

- Secteur Ouest -



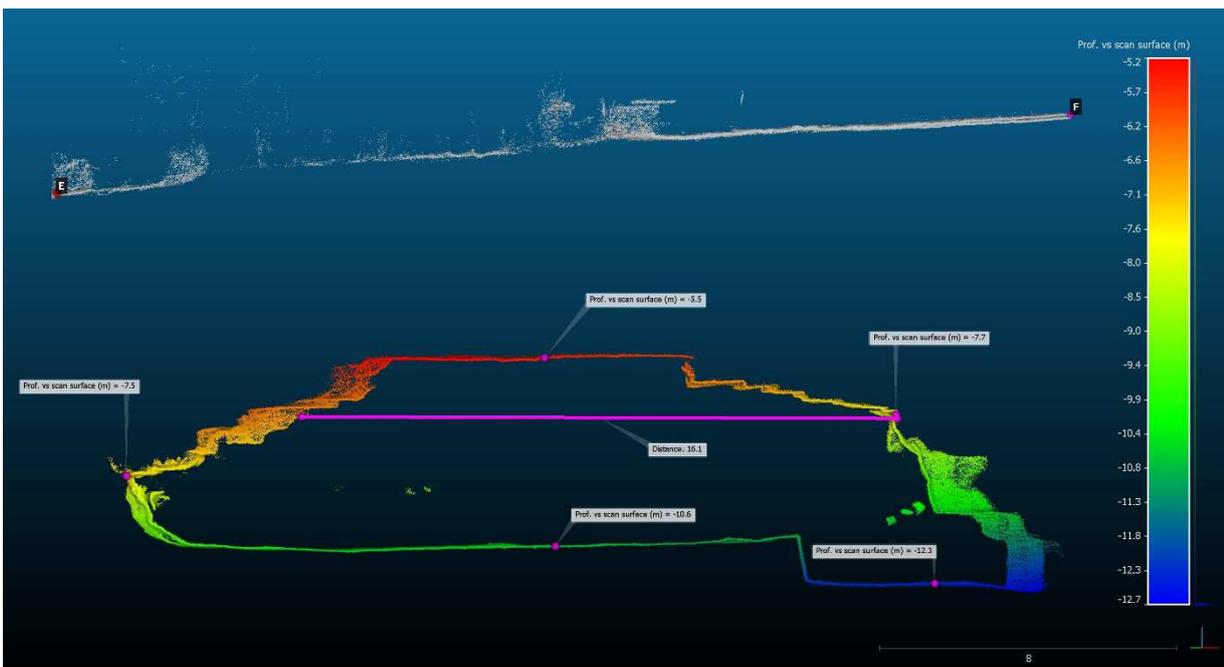
Coupe 3 (NO-SE)

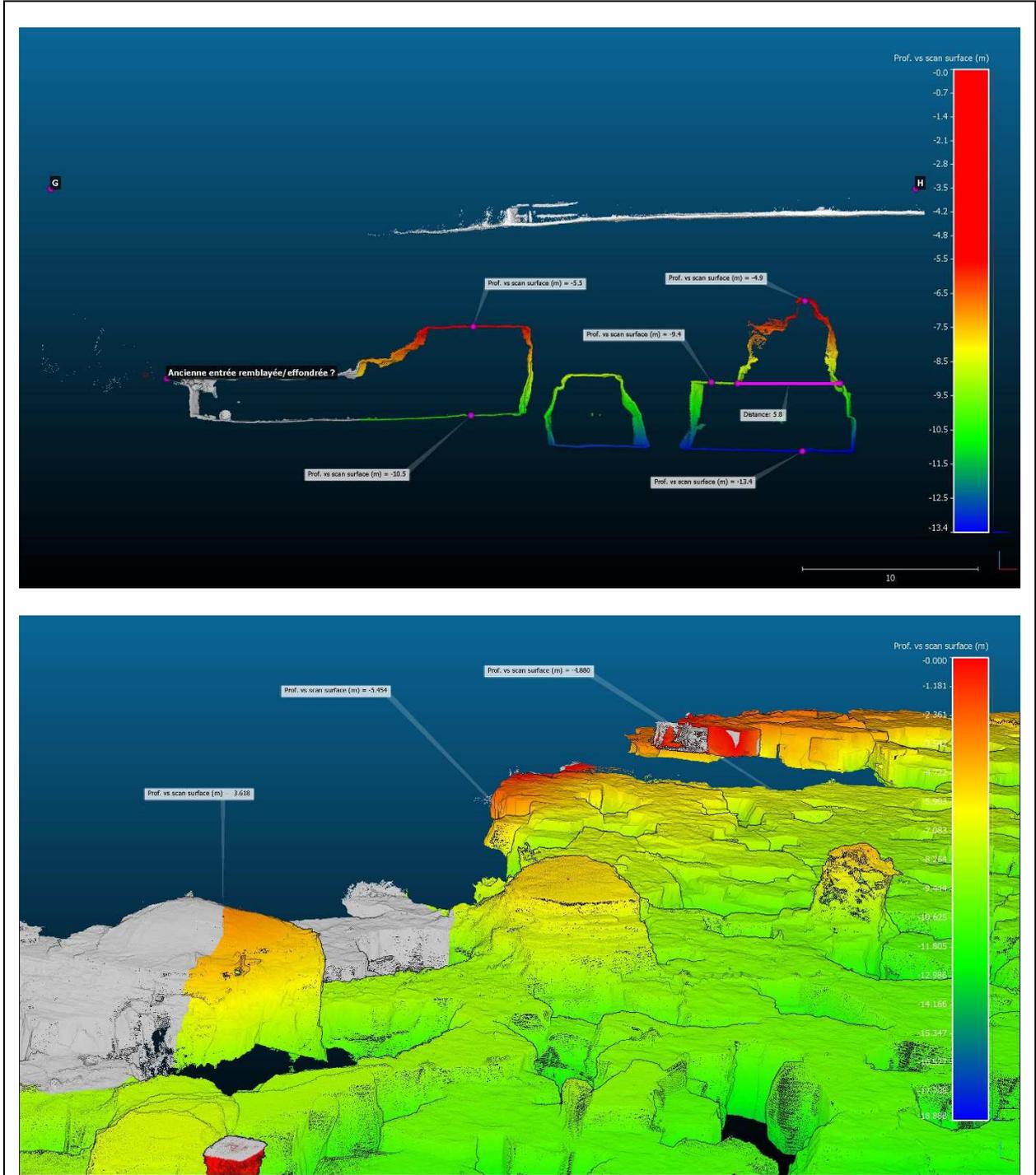
Ce secteur présente une montée de voûte à l'emporte-pièce. On constate un décollement des bancs de toit sur une longueur de 16 m. La dalle de toit actuelle mesure environ 10 m x 6 m (intensité élevée). Son état (banc dur ?) n'a pas pu être précisé.

Coupe 4 (SO-NE)

Cette coupe recoupe la chute de toit de la coupe 3 mais également une remontée de fontis à bords francs, plus au Nord, formée à l'intersection de plusieurs fractures. Moins de 5 m de terrains de recouvrement sépare ce second phénomène de la surface.

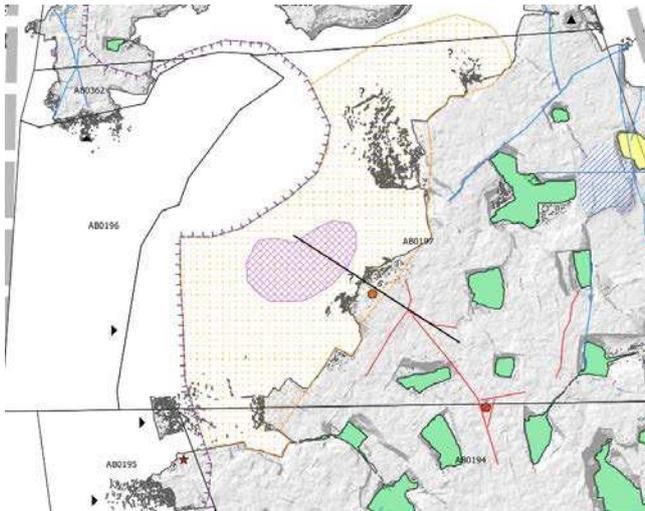
Par ailleurs, à l'extrémité Sud de la coupe, il existe une zone d'incertitude sur l'extension de la carrière. En effet, il pourrait s'agir d'un effondrement comblé ou d'un ancien accès remblayé.





Cavité n°7 (PICAW0020015)

- Secteur Nord-Ouest -

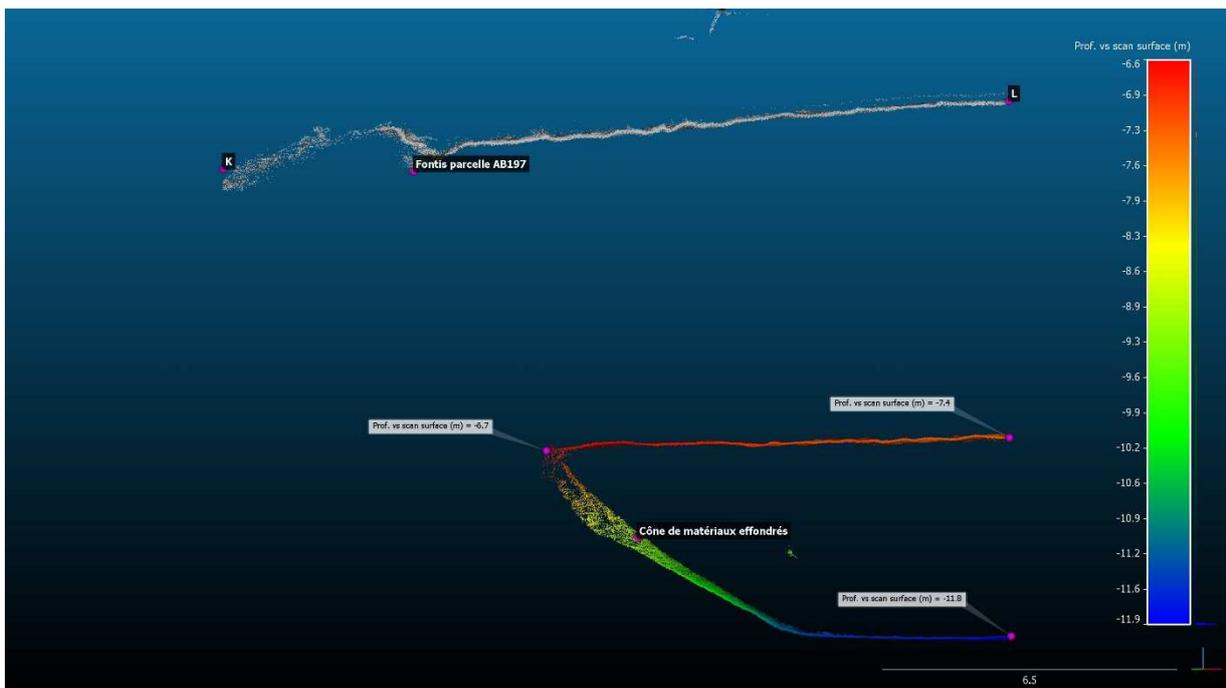


Coupe 6 (NO-SE)

Il s'agit du secteur présentant le plus d'incertitudes sur l'extension de la carrière (en pointillé orange. En effet, plusieurs indices laissent penser que certaines parties ne sont pas accessibles (du Sud-Ouest au Nord-Est) :

- Des entrées en cavage visibles depuis la surface mais sans données ZEB (remblayées ?) ;
- Un effondrement, d'un diamètre d'environ 10 m, visible en surface au-dessus d'une zone non-cartographiée (comblé ?) ;
- Une galerie qui semble se dessiner dans les données ZEB (en partie remblayée ?).

La coupe 6 recoupe l'effondrement visible en surface ainsi qu'un cône d'éboulis constaté en souterrain (matériaux effondrés ou remblais ?).



Annexe 4

Représentation (en figures et en coupes) des principales instabilités constatées dans la cavité n°23 à l'aide des données en 3D issues des levés ZEB

Cavité n°23 (PICAW0020016)

- Secteur Nord -

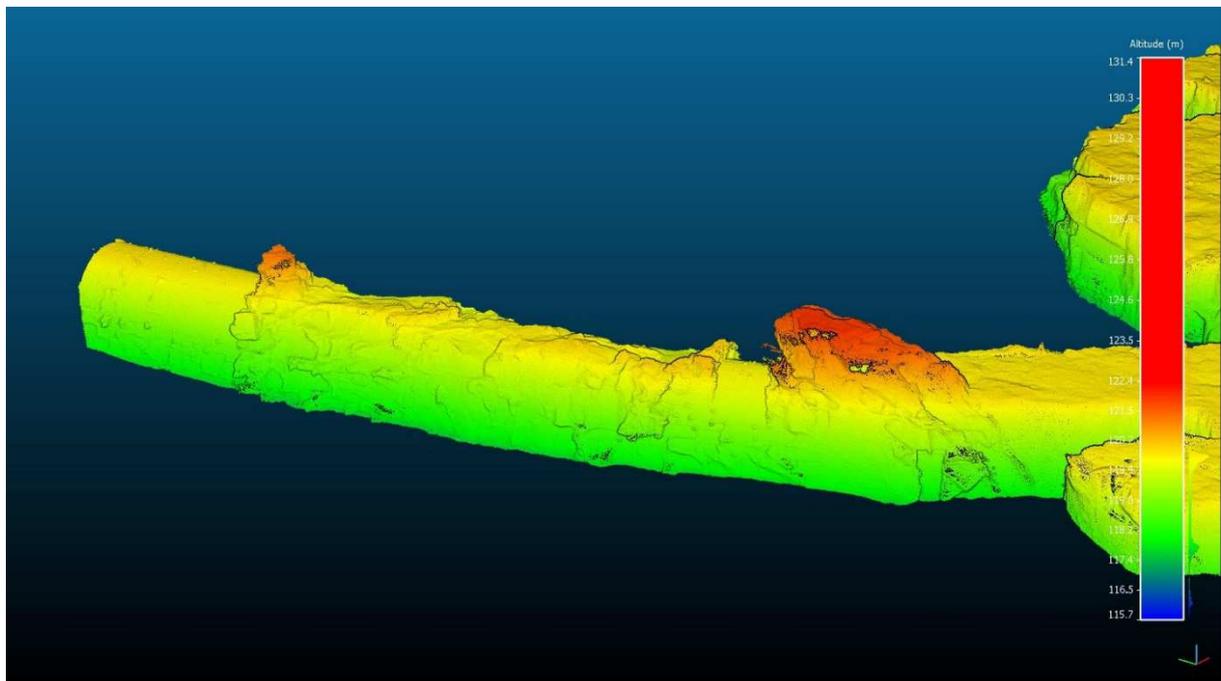


Coupe longitudinale Nord-Sud (et coupes transversales de la galerie d'entrée)

La galerie d'entrée de la carrière n°23 est maçonnée sur les cinq premiers mètres. Le reste de la galerie présente plusieurs instabilités :

- Deux remontées de fontis (parcelles AB0469 et AB0148) ;
- De la fracturation mécanique importante.

Un bâtiment d'habitation se situe à l'aplomb du second fontis. L'épaisseur de recouvrement étant relativement faible dans cette partie de la carrière (environ 2 m), **cette instabilité présente un risque important pour le bâtiment situé au-dessus. Une surveillance régulière ou un confortement devra être mis en place.**





Cavité n°23 (PICA0020016)

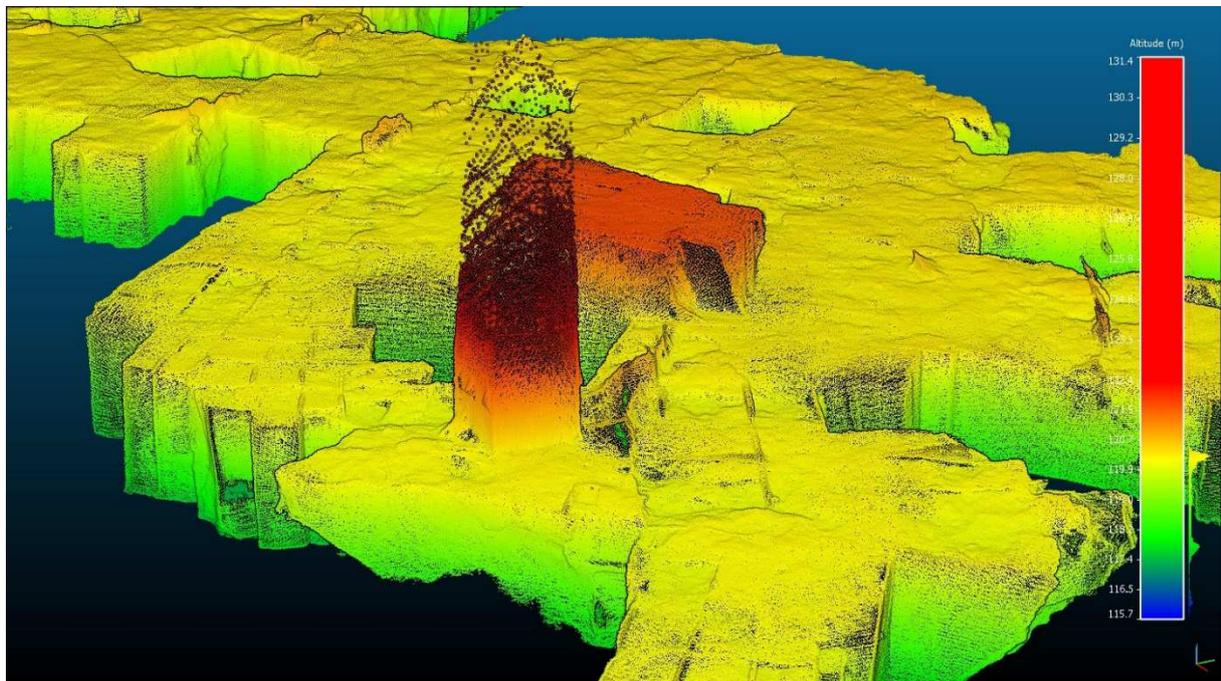
- Secteur Est -



Figure en 3D SE-NO

Dans la partie Est de la cavité, on trouve en particulier une montée de voûte, à l'emporte-pièce, d'environ 4 à 5 m de diamètre. Dans cette zone, la hauteur de vide atteint presque 4 m. Le toit est remonté d'environ 1 m par rapport au reste de la carrière.

La figure montre au premier plan un puits d'accès vide dont le diamètre est d' 1,4 m. On constate également l'existence de quelques fractures affectant le toit.



Cavité n°23 (PICA0020016)

- Secteur Ouest -

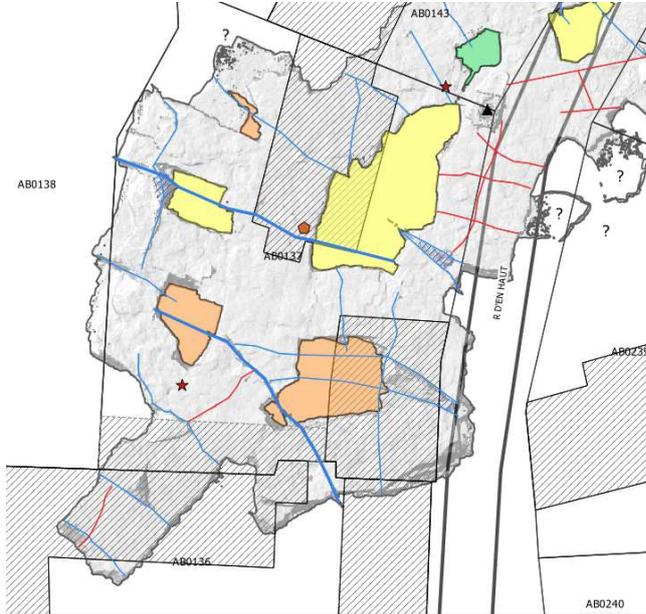
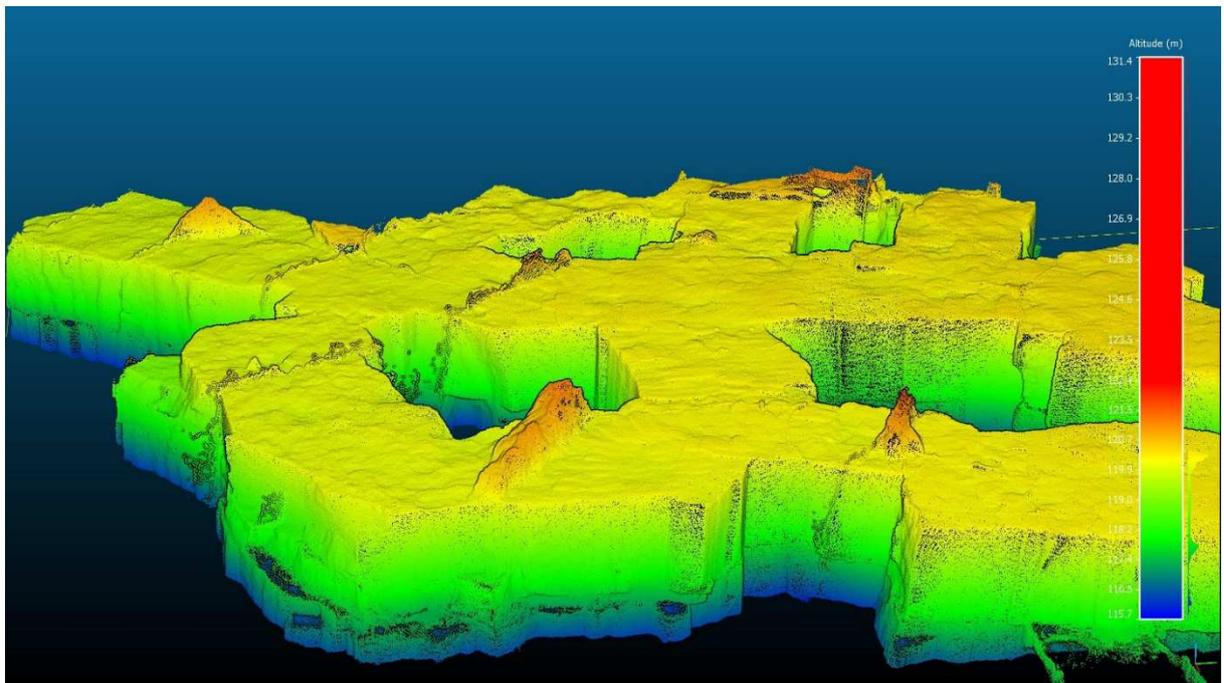


Figure en 3D SO-NE

Dans cette partie de la carrière n°23, le toit est découpé par de grandes diaclasses, parfois ouvertes, qui peuvent remonter jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres dans le toit.

Des dièdres sont parfois visibles le long de ces fractures, correspondant à des blocs qui ont fini par se détacher.

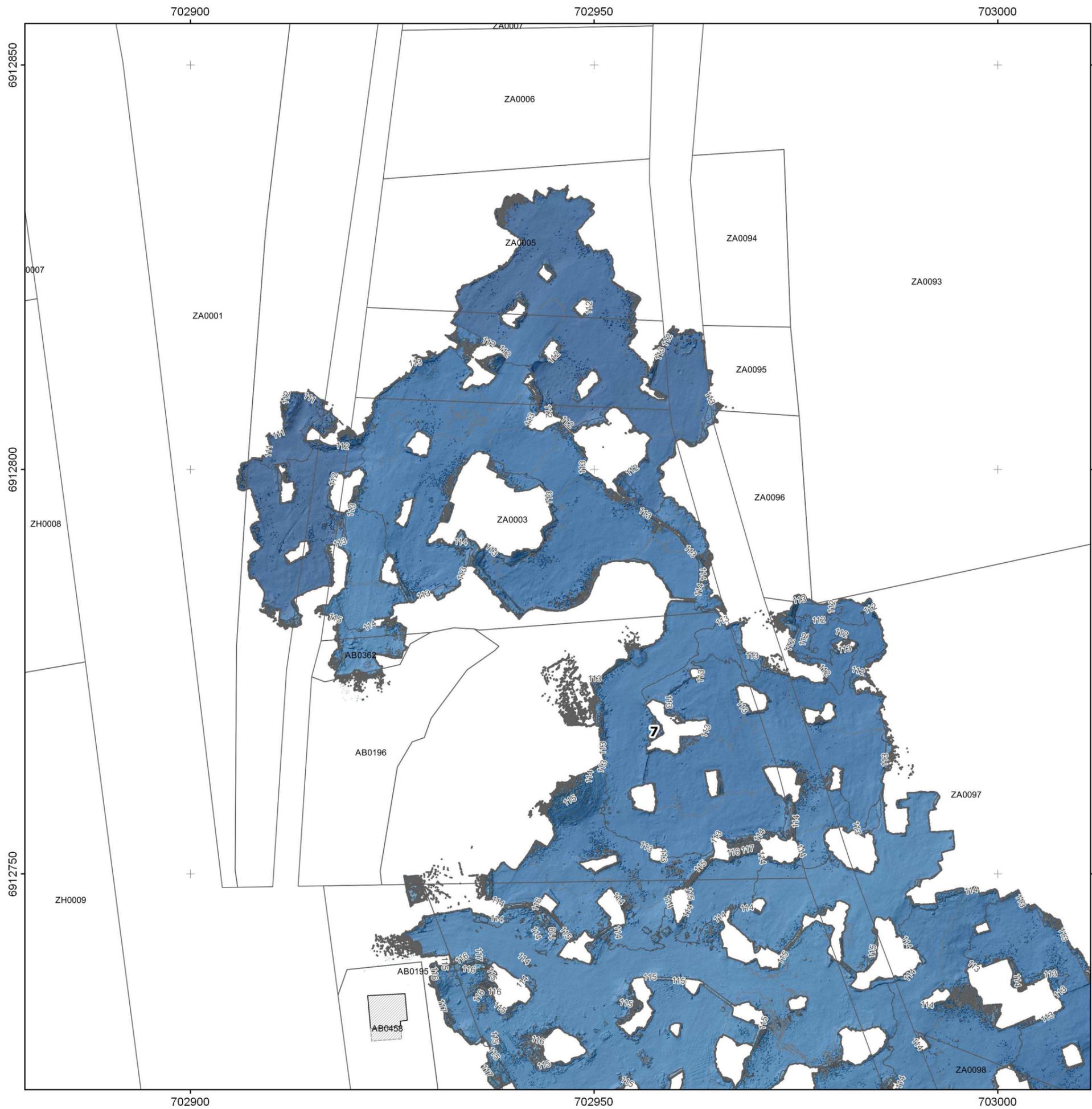
L'extrait de la carte informative montre un second puits. Ce puits a un diamètre supérieur au précédent (près de 2 m).



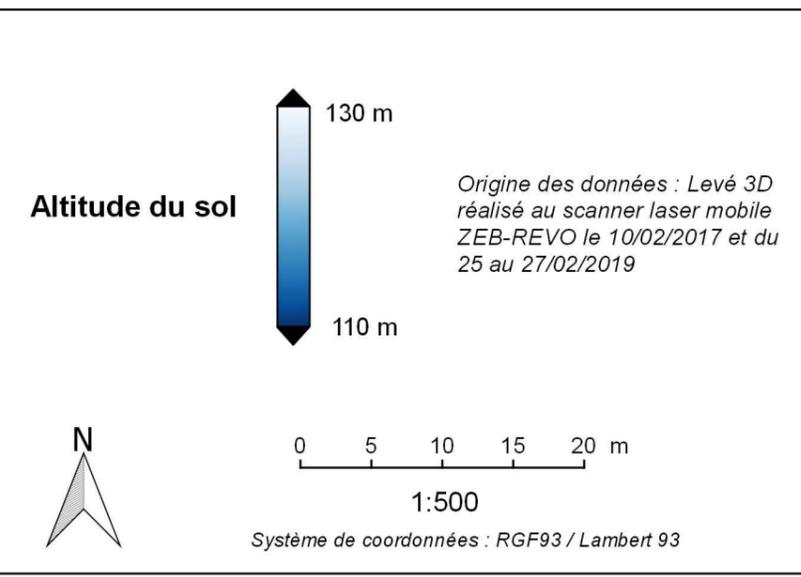


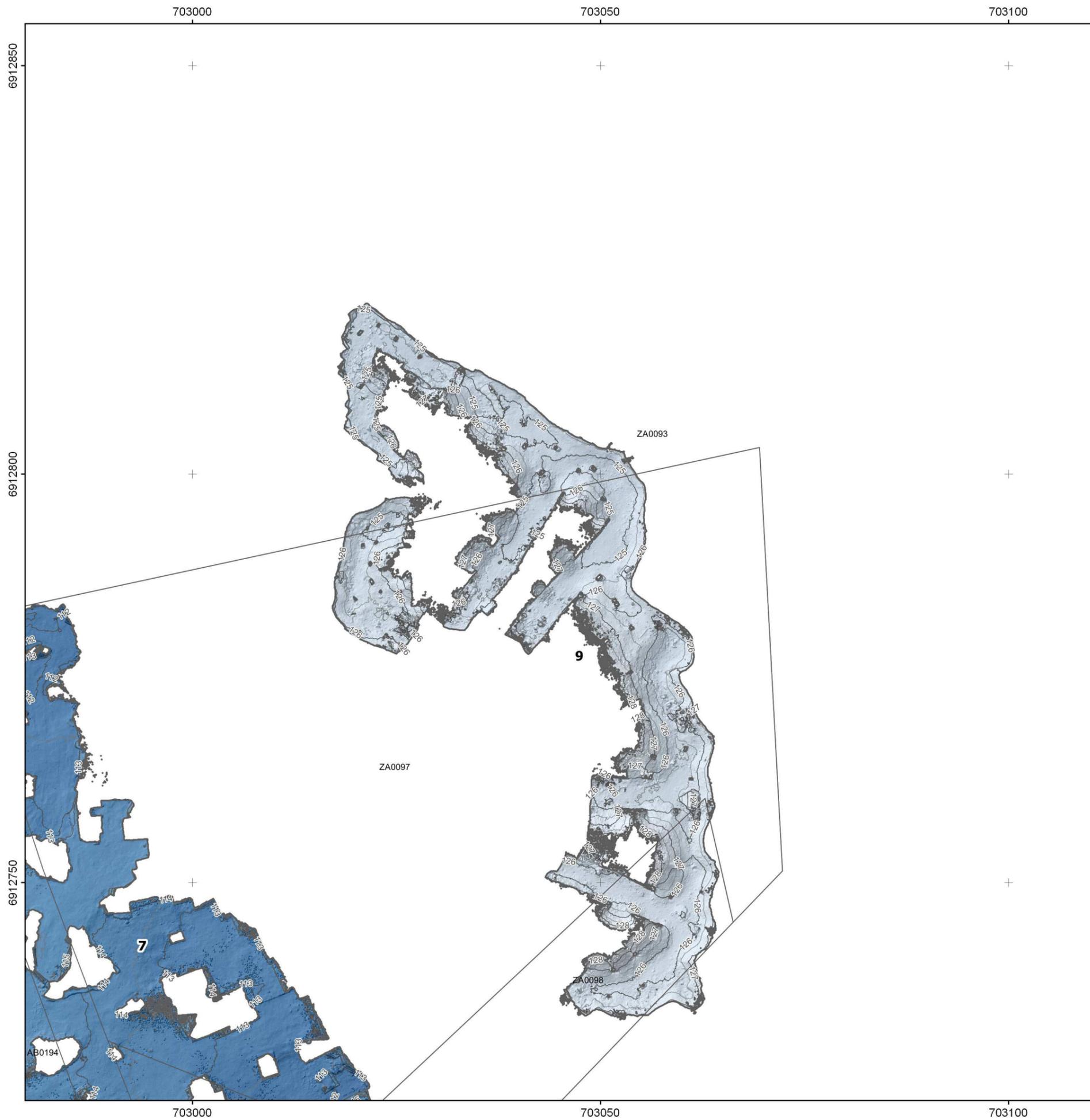
Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Hauts-de-France
Arteparc, 2 rue des Peupliers
59814 – Lesquin Cedex – France
Tél. : 03 20 19 15 40

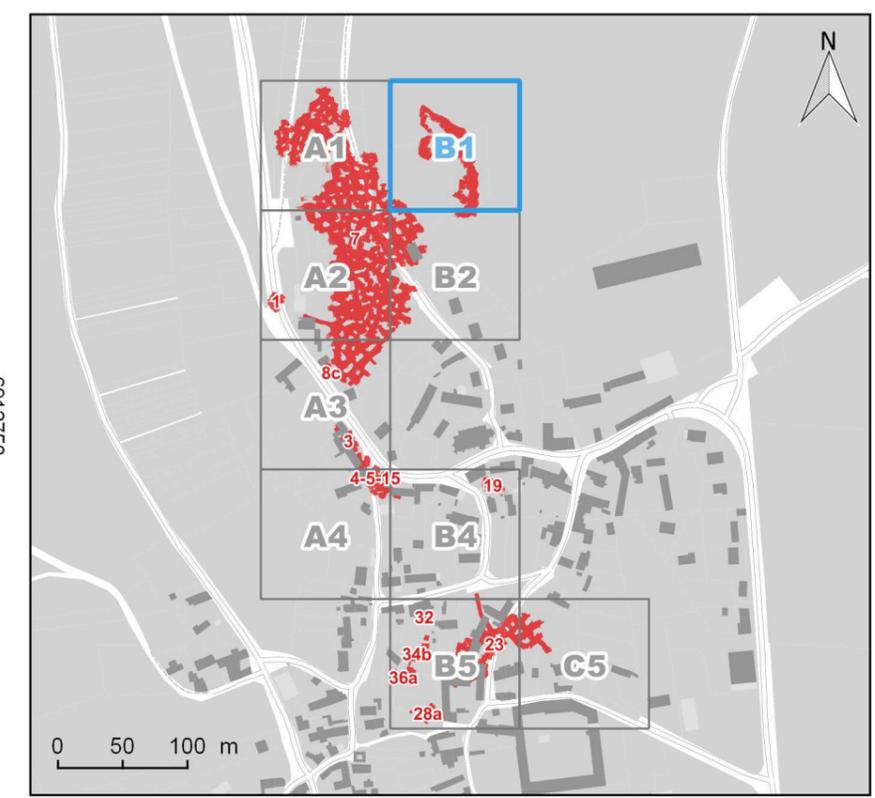
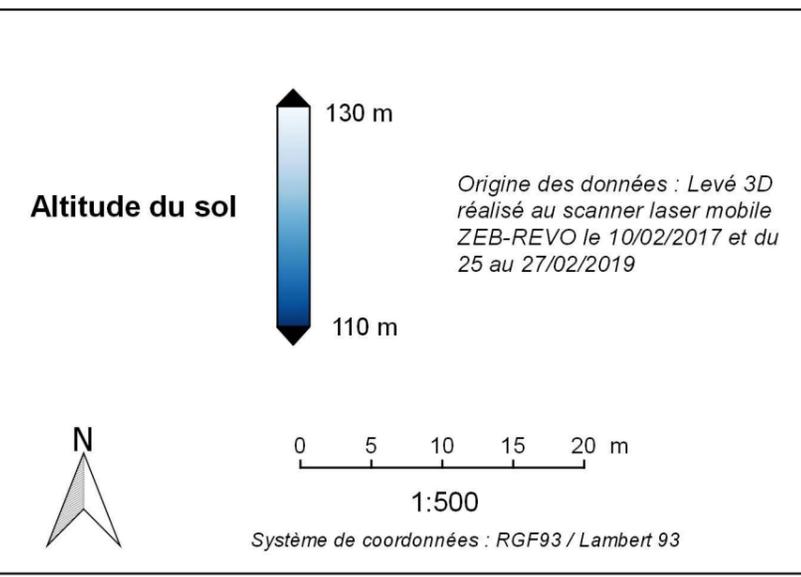


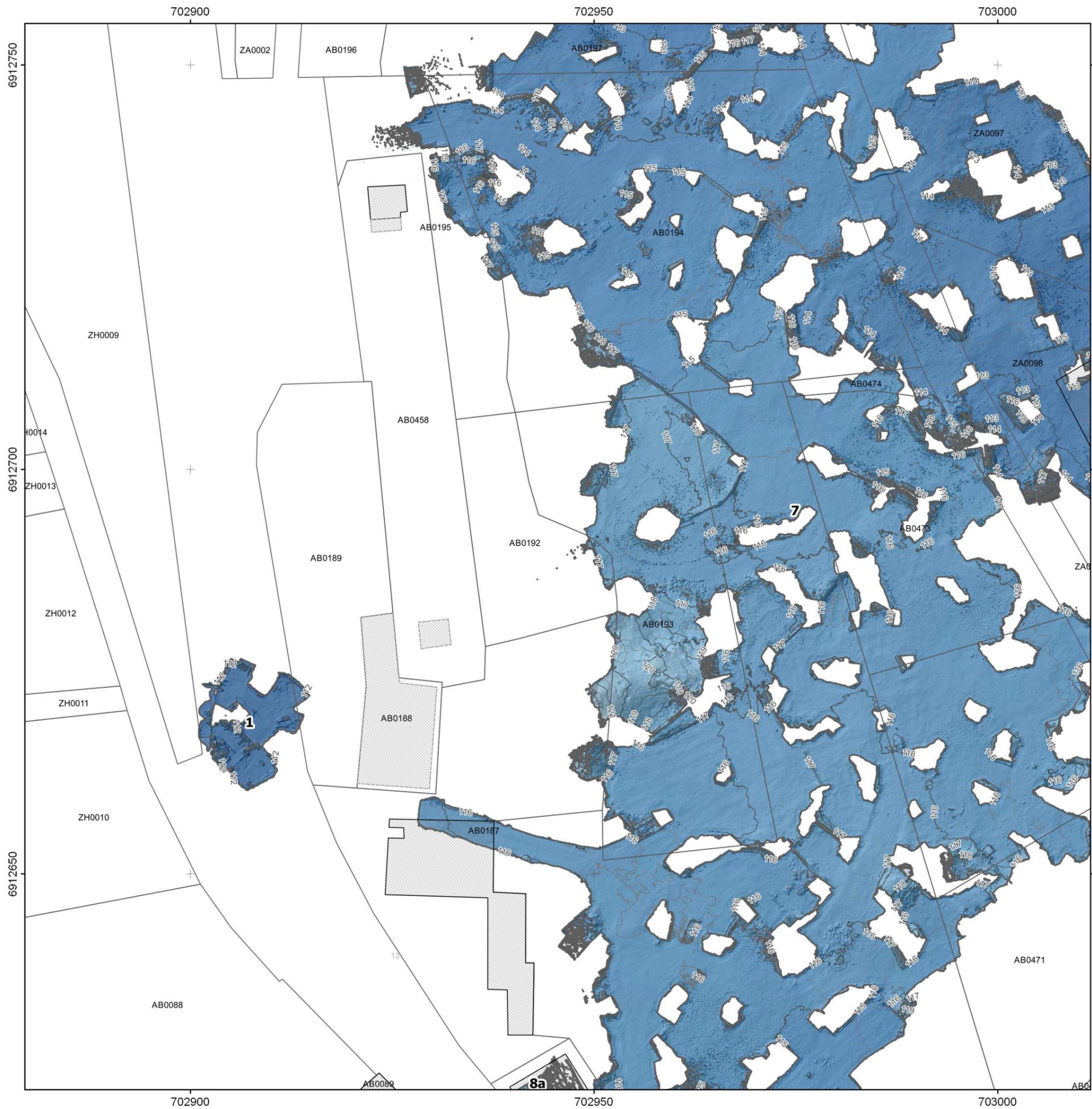
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A1
Altitude du sol des cavités



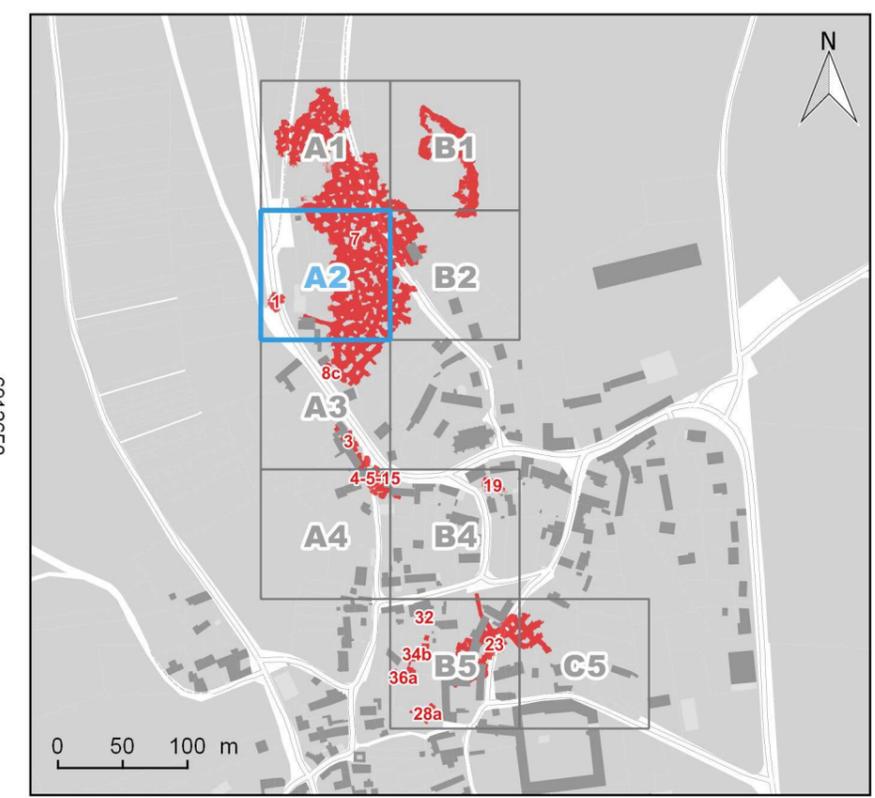
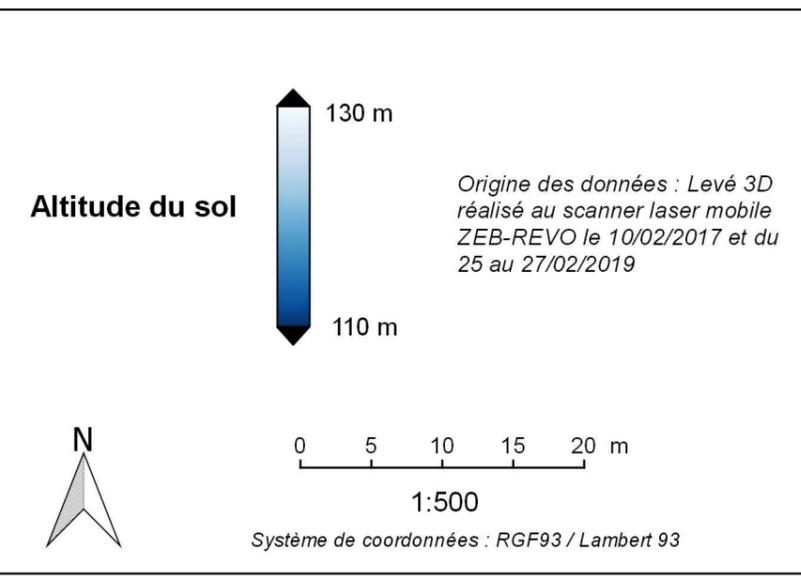


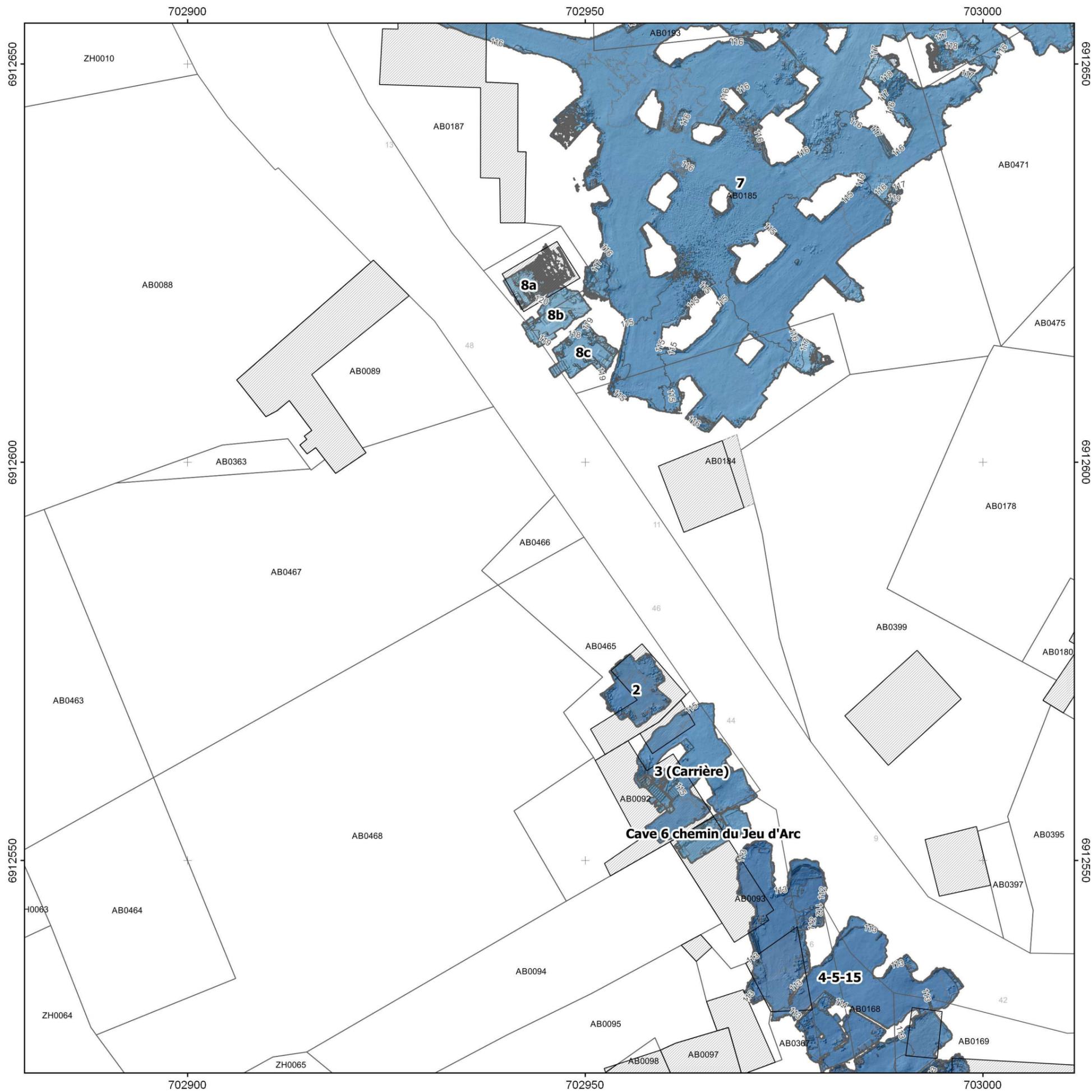
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B1
Altitude du sol des cavités



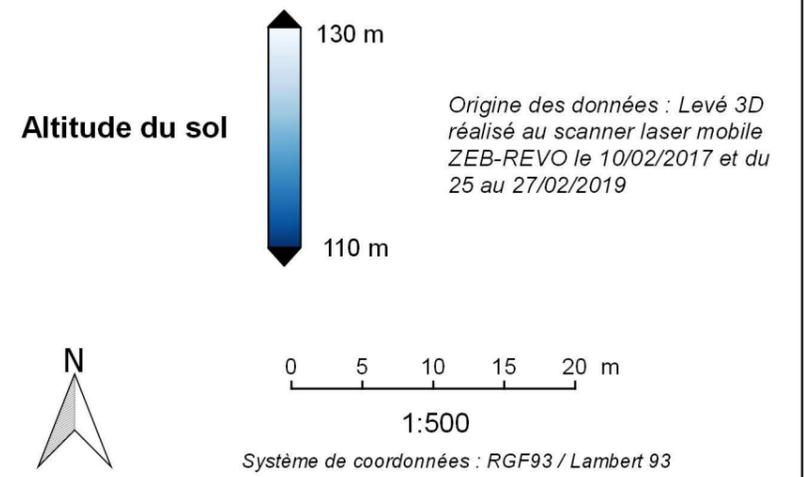


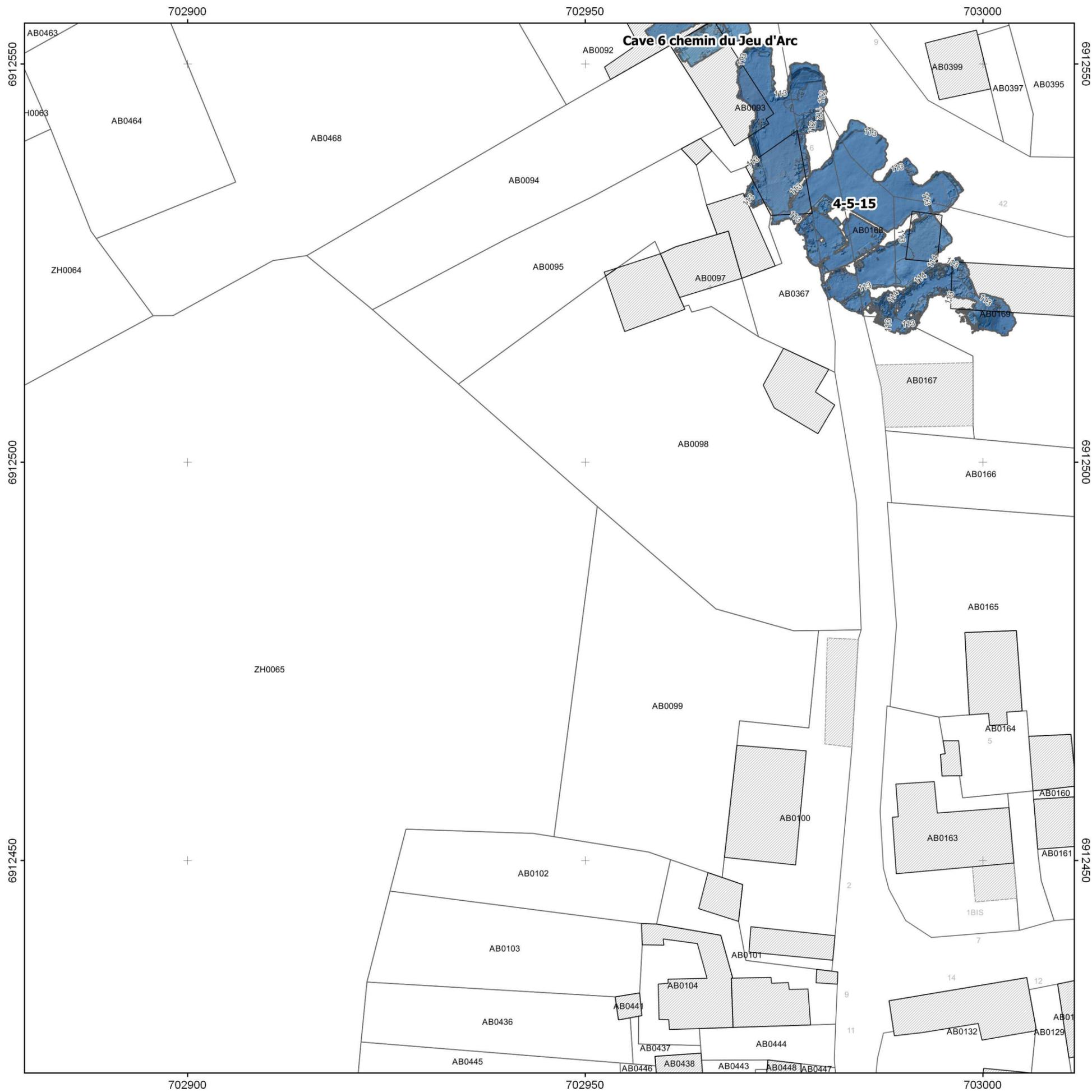
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A2
Altitude du sol des cavités





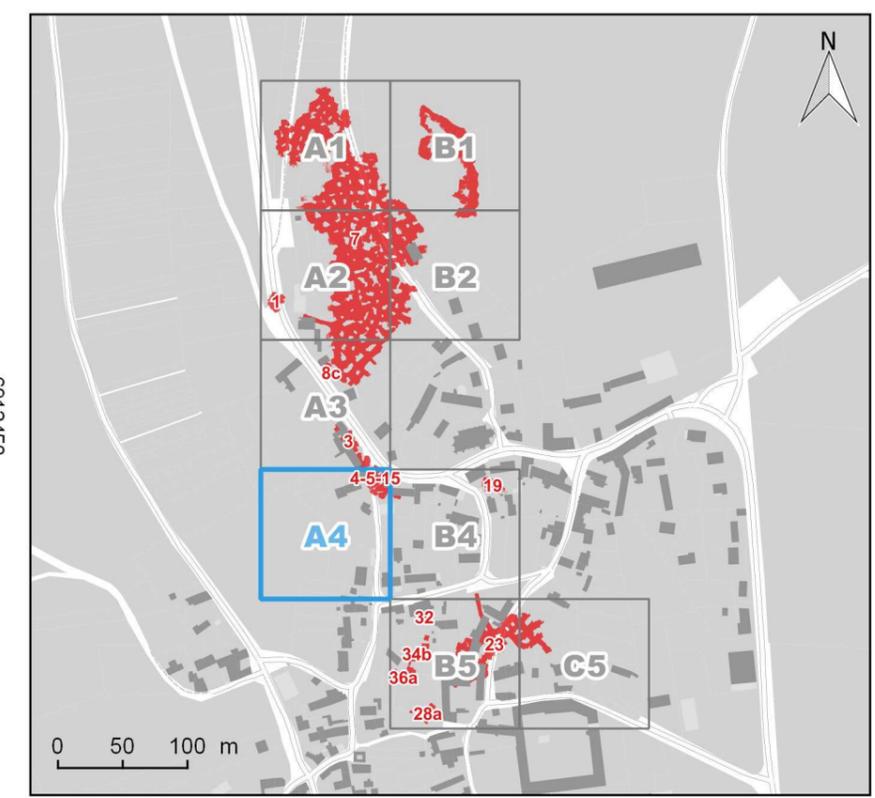
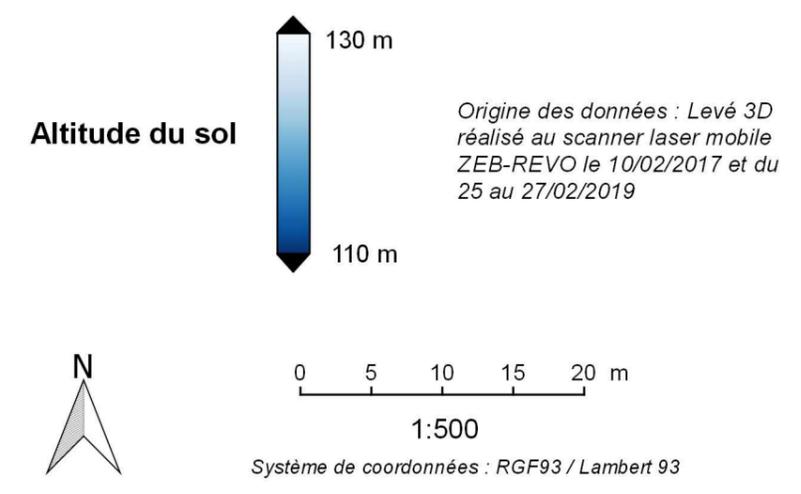
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A3
 Altitude du sol des cavités

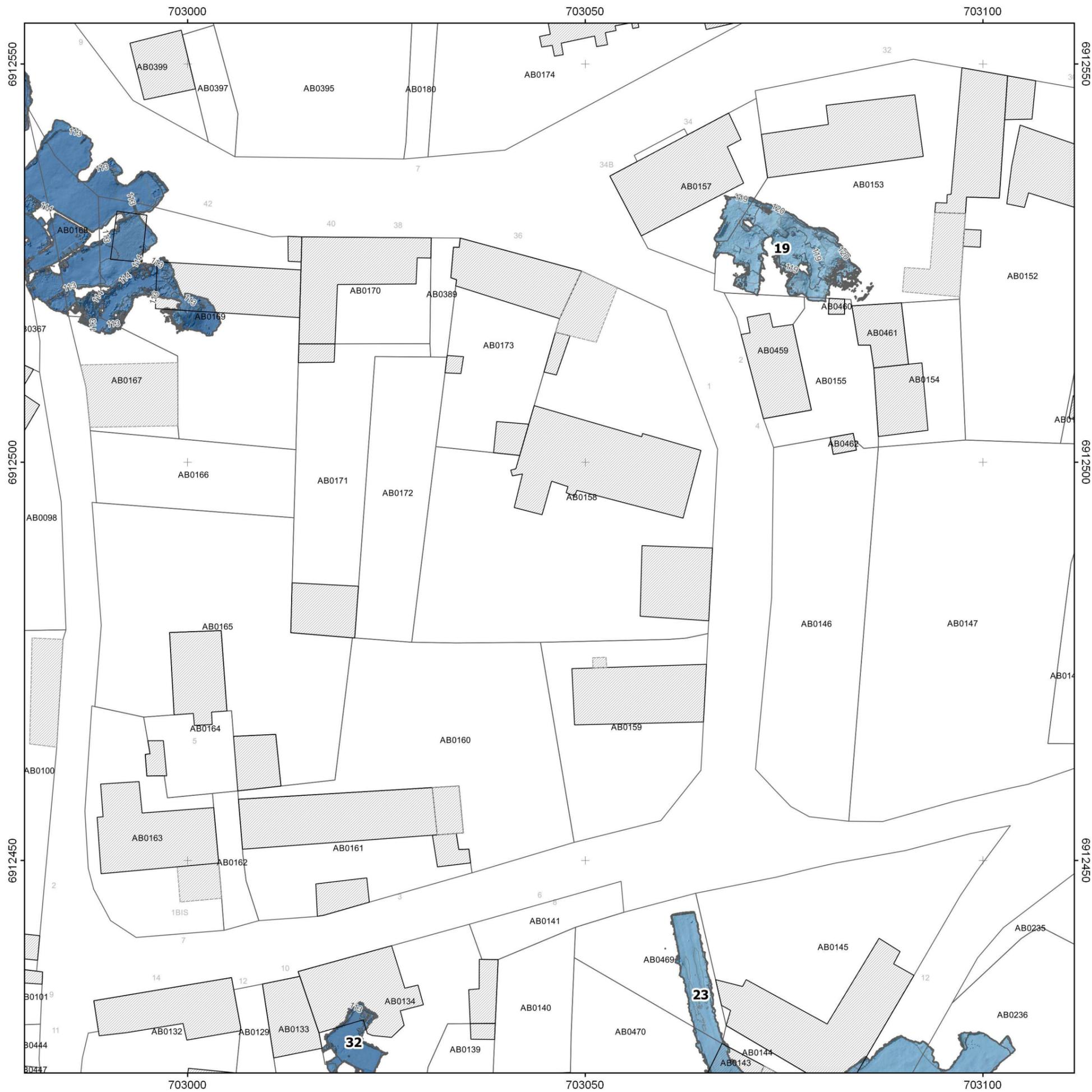




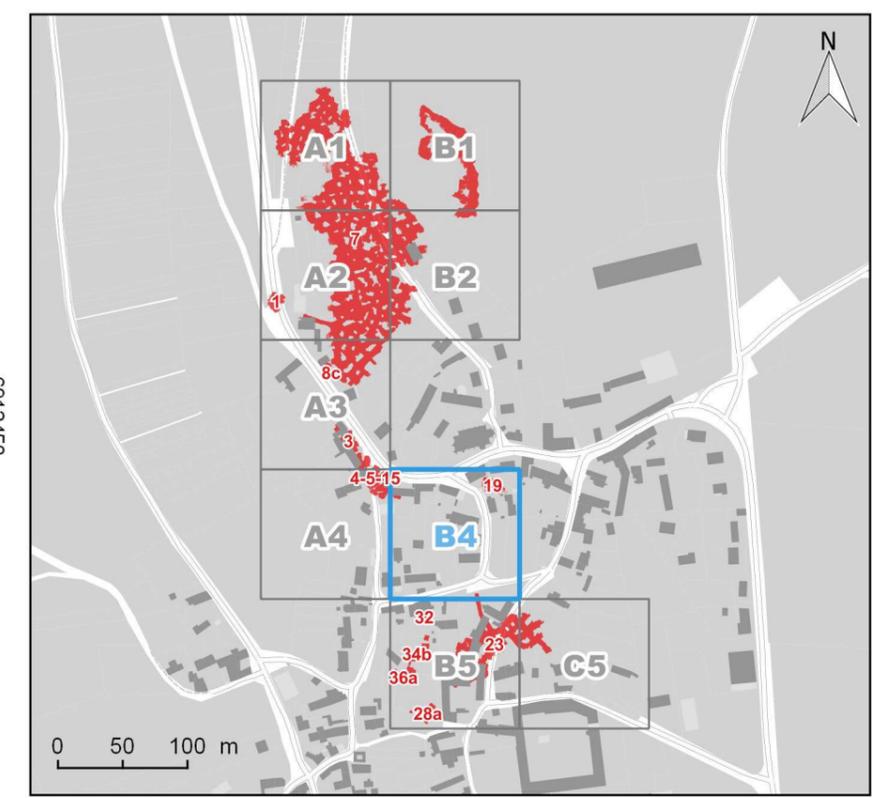
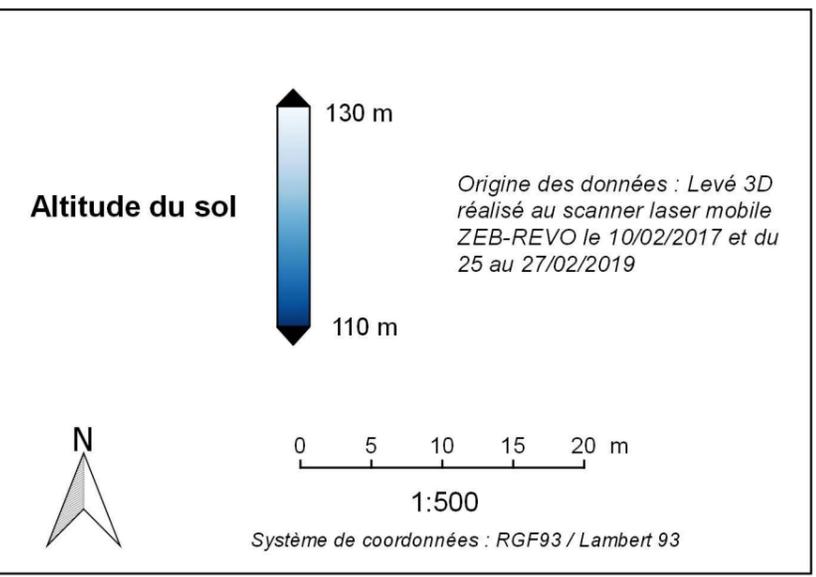
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A4

Altitude du sol des cavités



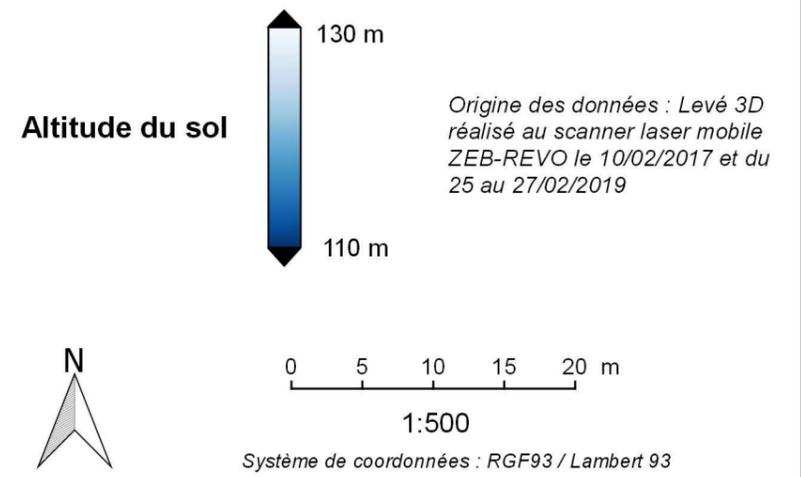


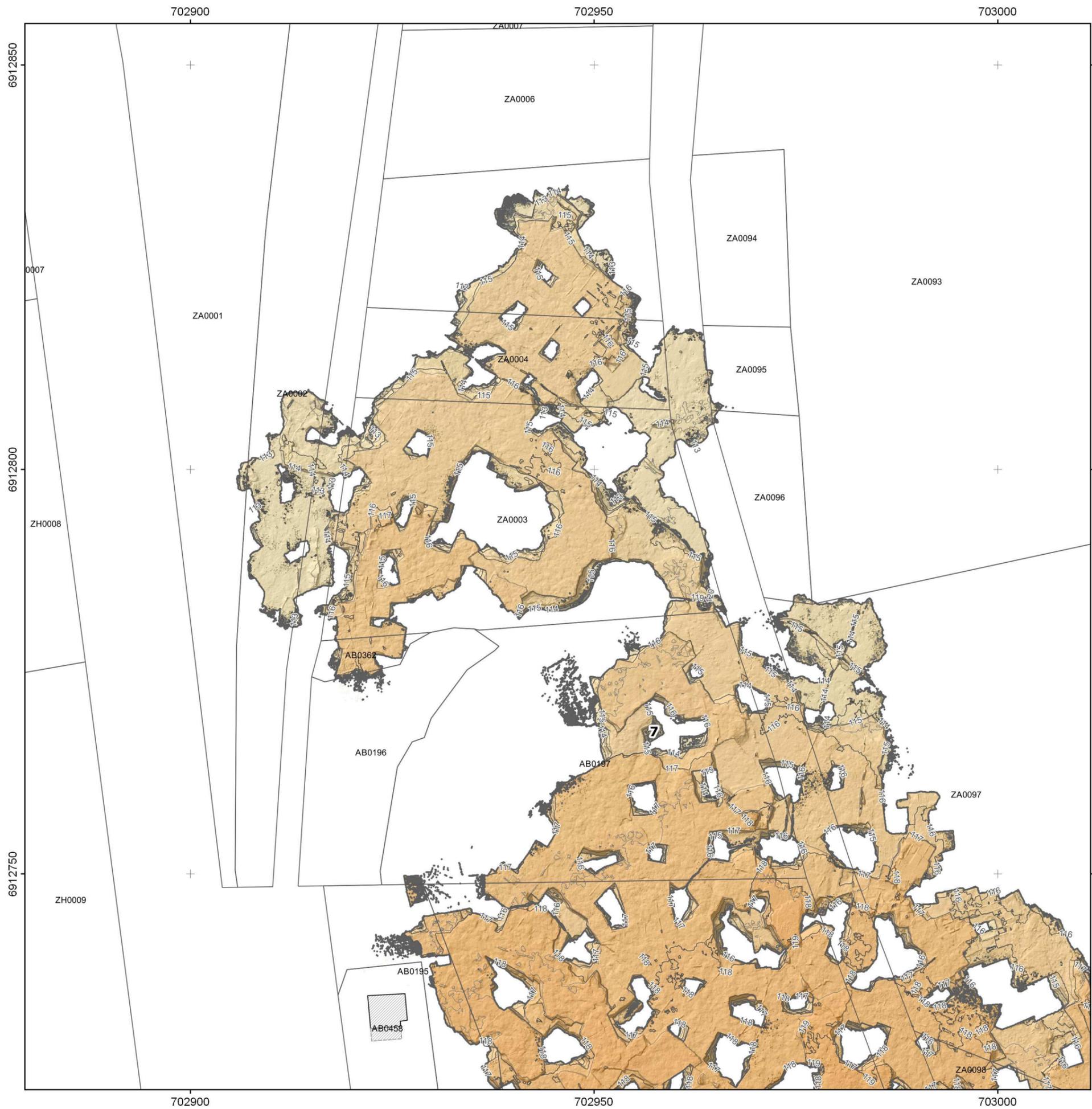
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B4
 Altitude du sol des cavités



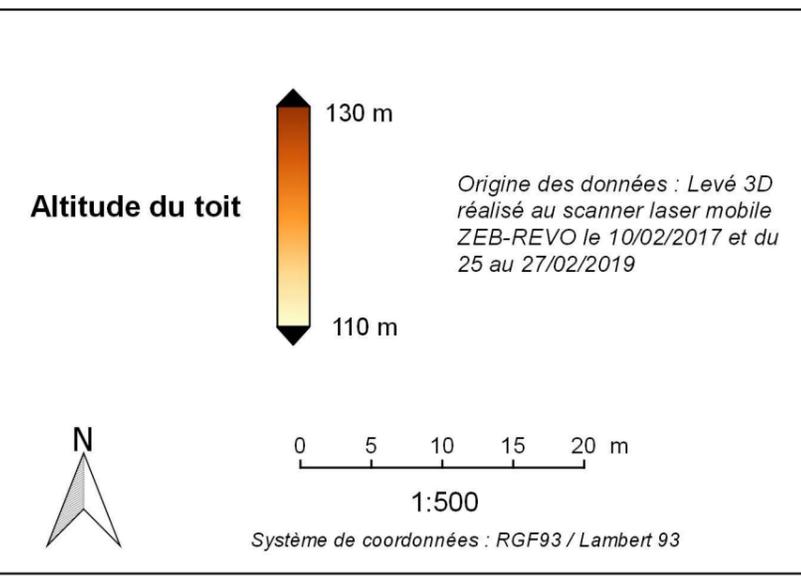


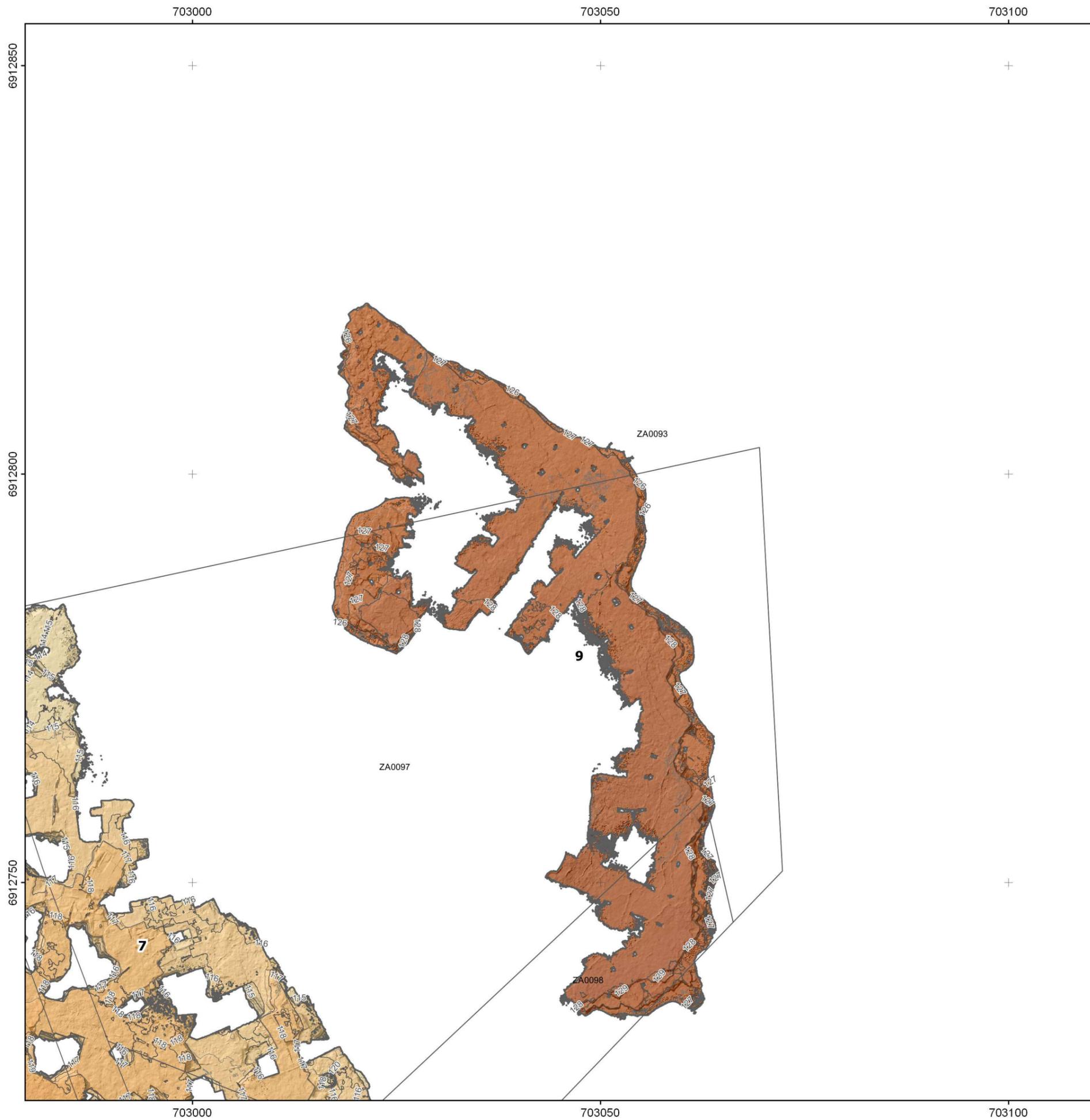
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B5
 Altitude du sol des cavités





Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A1
 Altitude du toit des cavités

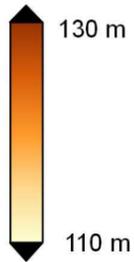





 Géosciences pour une Terre durable
brgm

Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B1
Altitude du toit des cavités

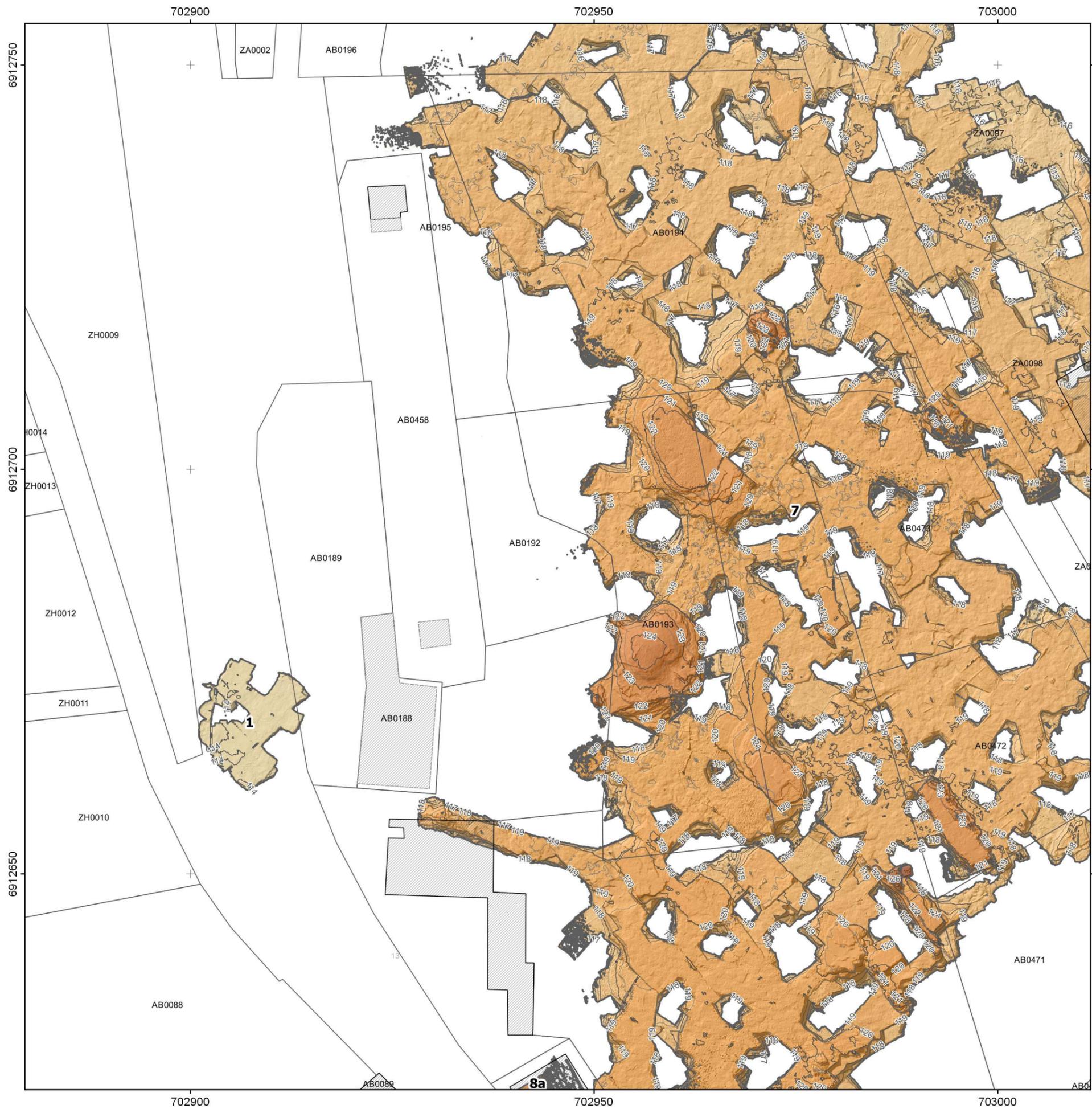
Altitude du toit



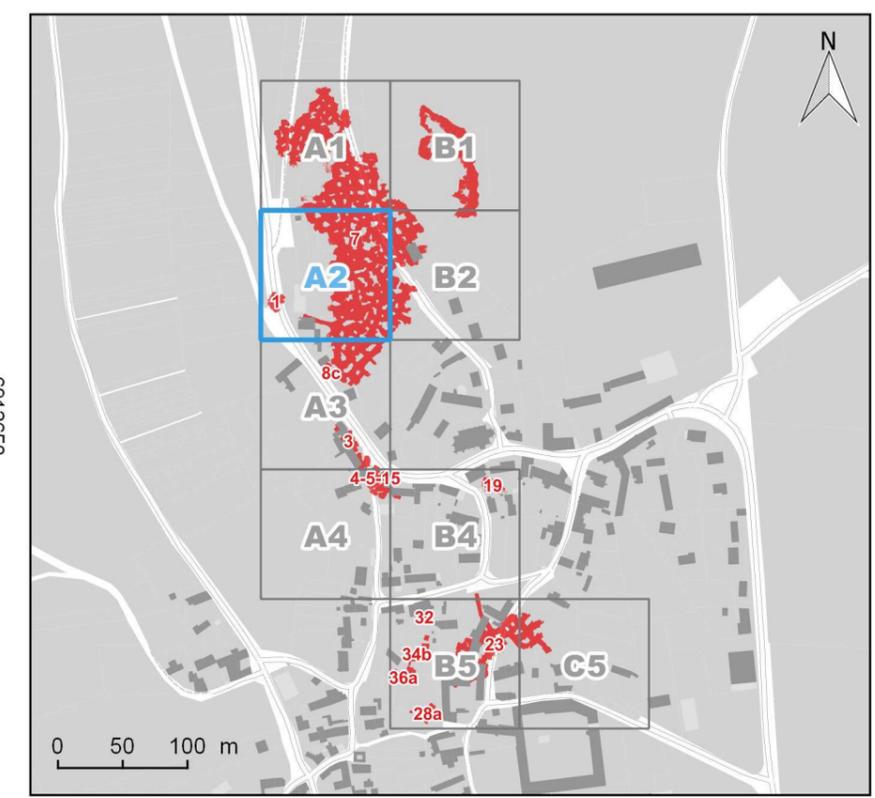
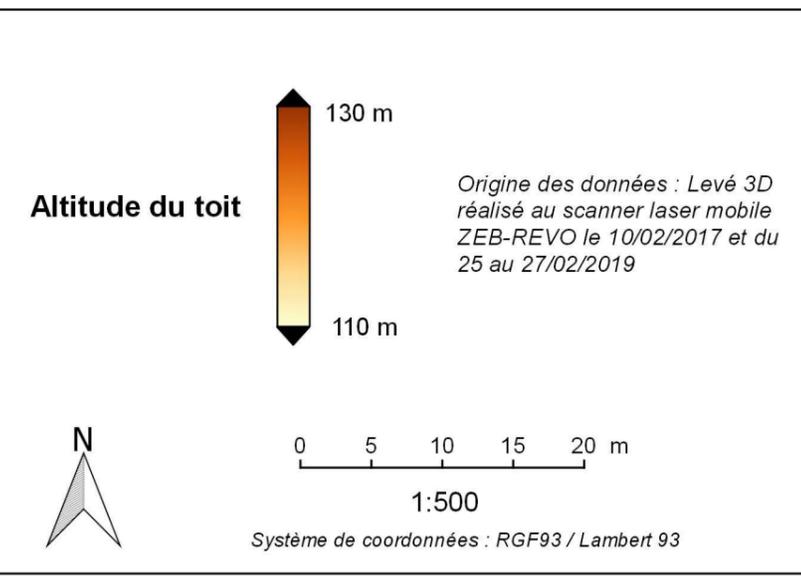
Origine des données : Levé 3D
 réalisé au scanner laser mobile
 ZEB-REVO le 10/02/2017 et du
 25 au 27/02/2019

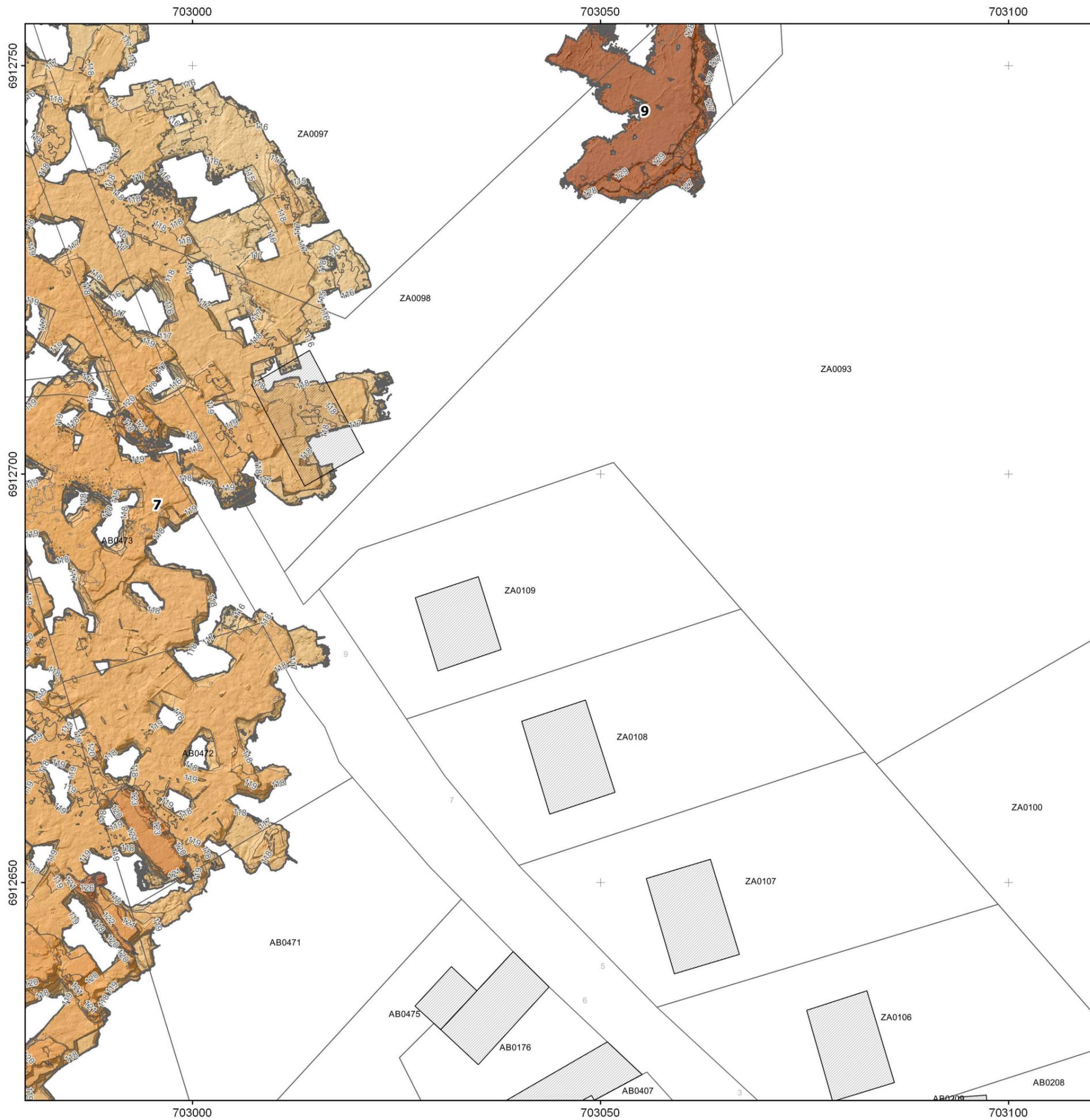
0 5 10 15 20 m
 1:500
 Système de coordonnées : RGF93 / Lambert 93



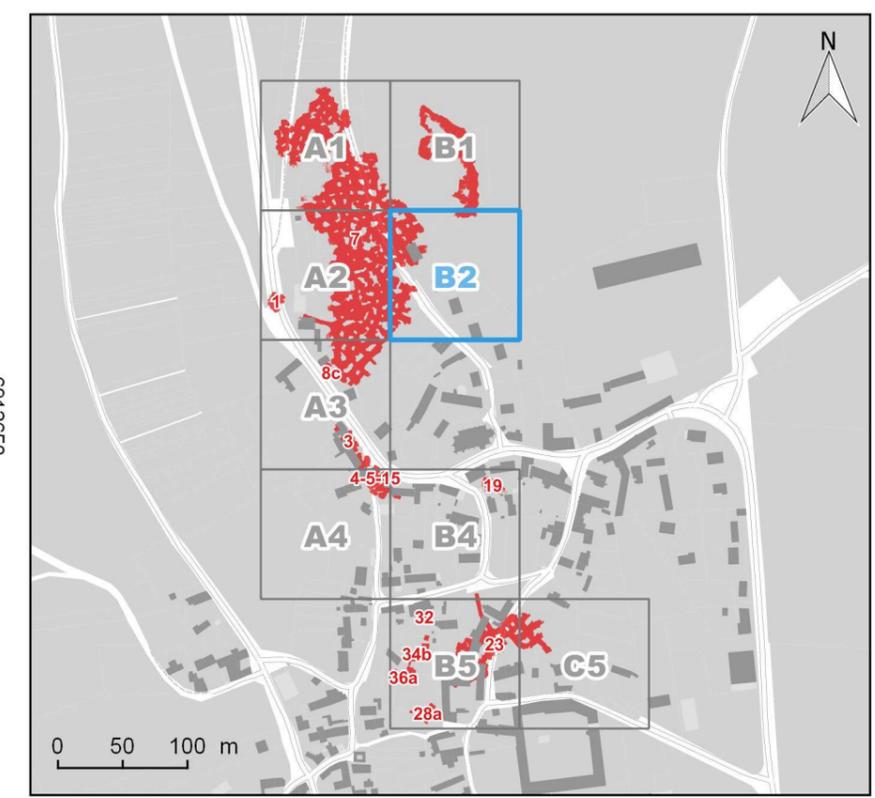
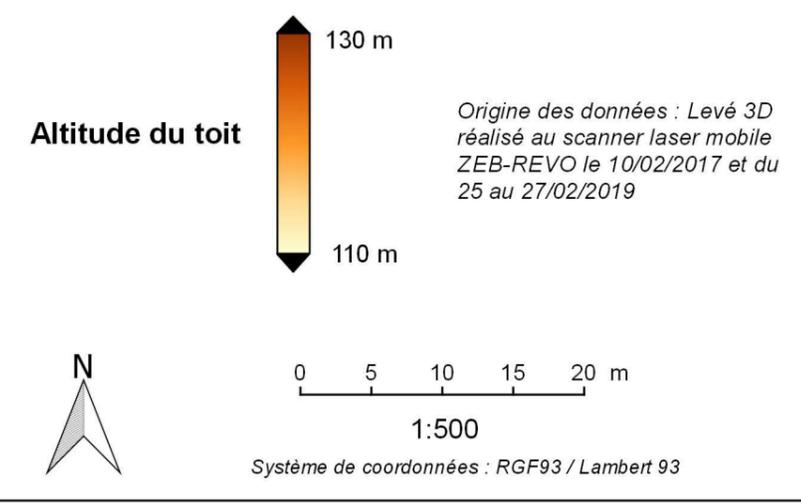


Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A2
Altitude du toit des cavités



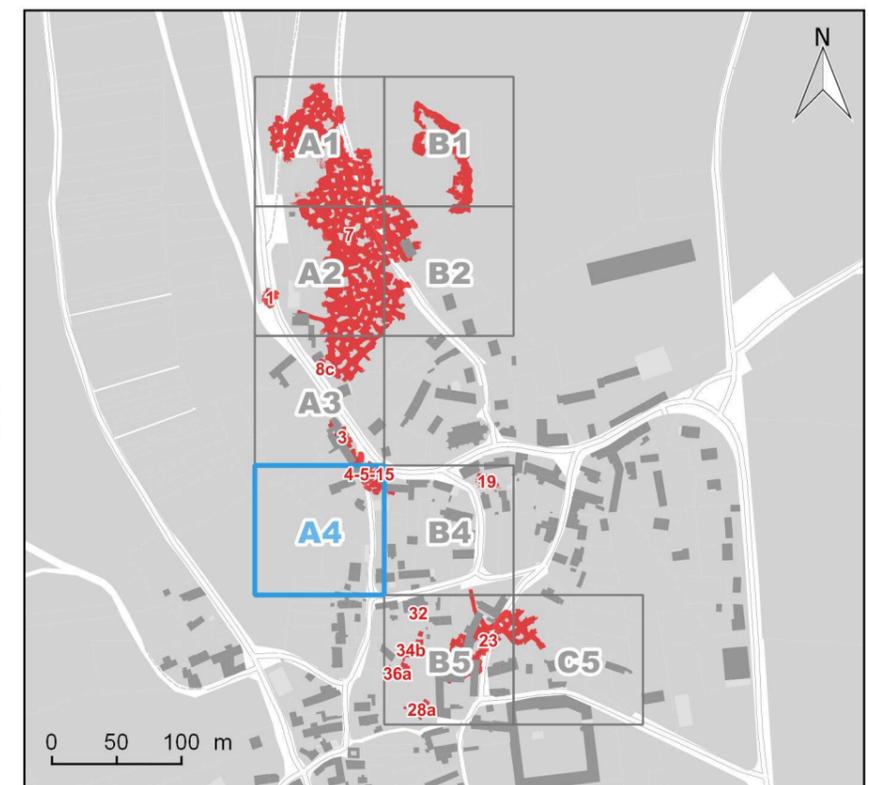
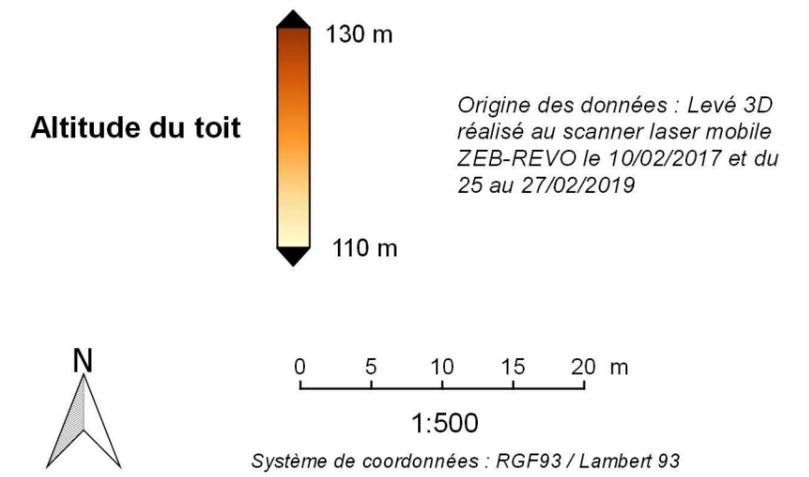


Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B2
Altitude du toit des cavités



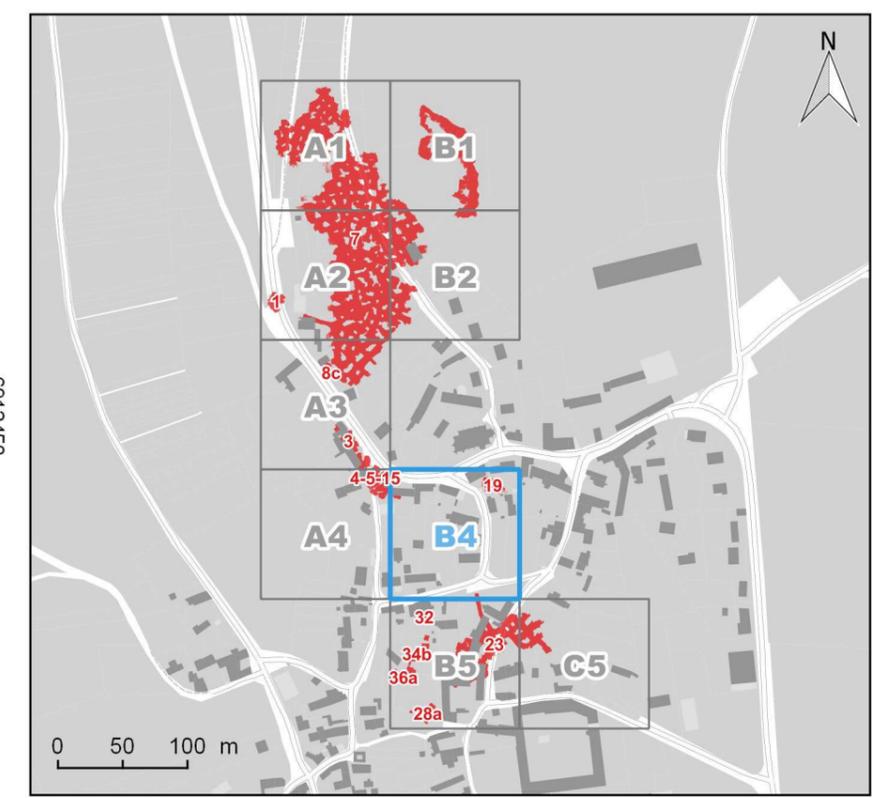
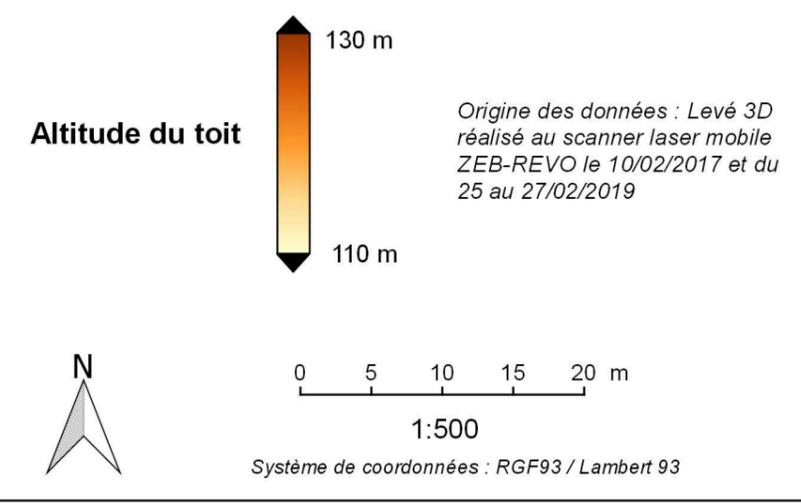


Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A4
Altitude du toit des cavités



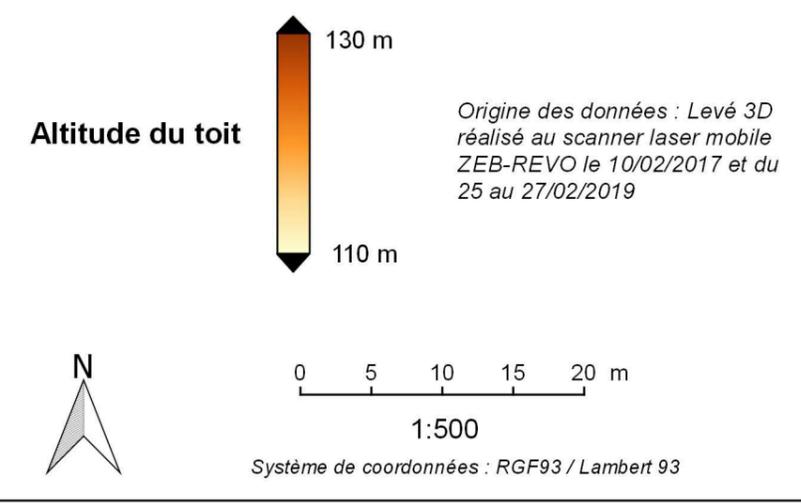


Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B4
 Altitude du toit des cavités



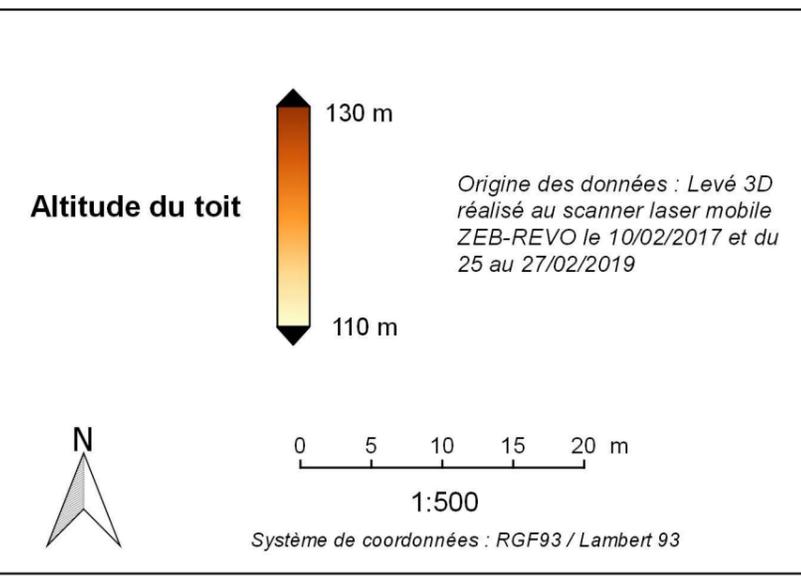


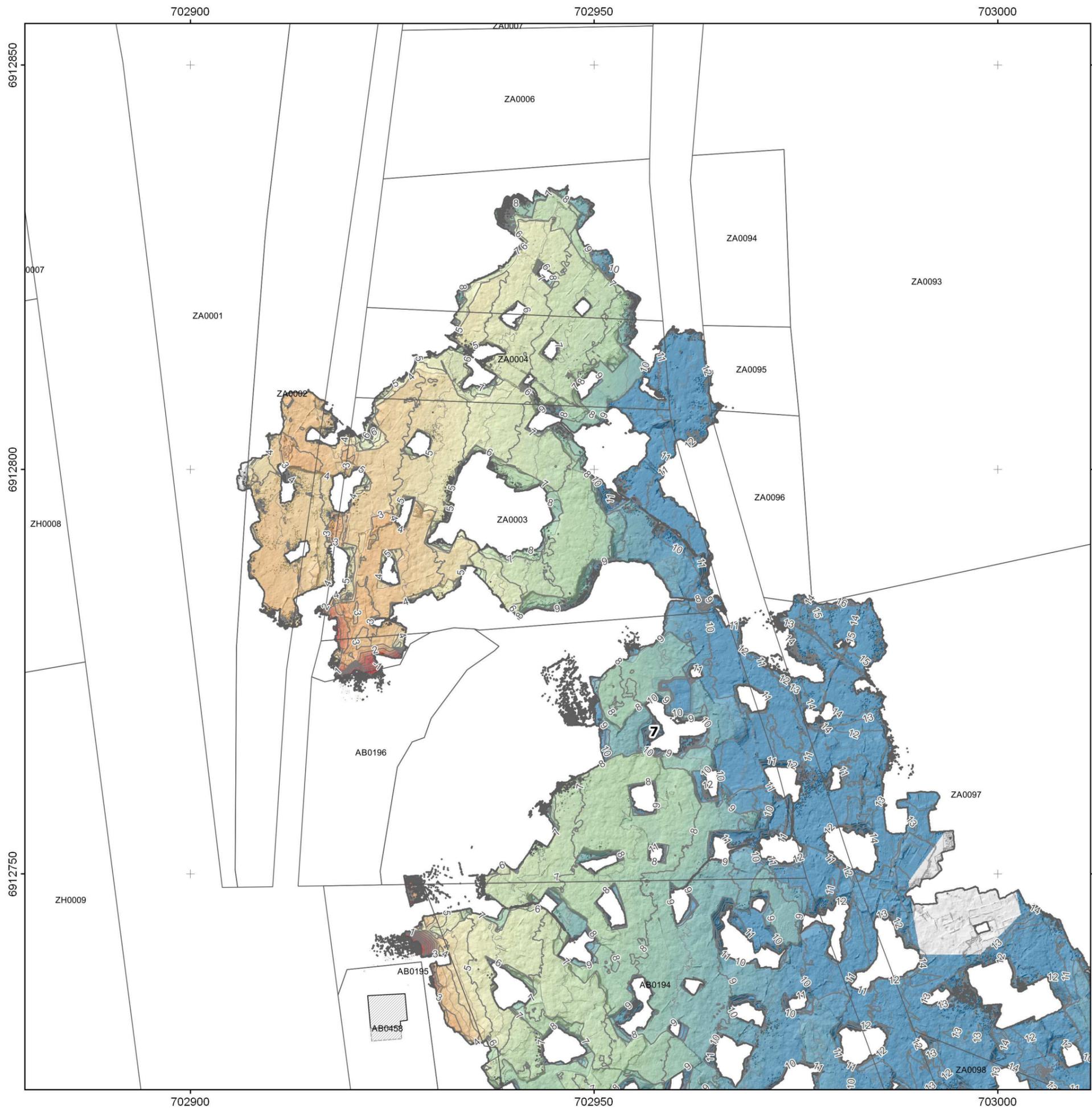
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B5
Altitude du toit des cavités





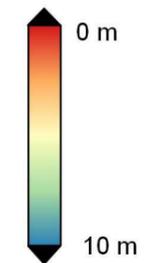
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche C5
 Altitude du toit des cavités



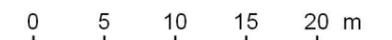


Epaisseur de recouvrement

Réf. altitude sol :
 Scan 3D extérieur

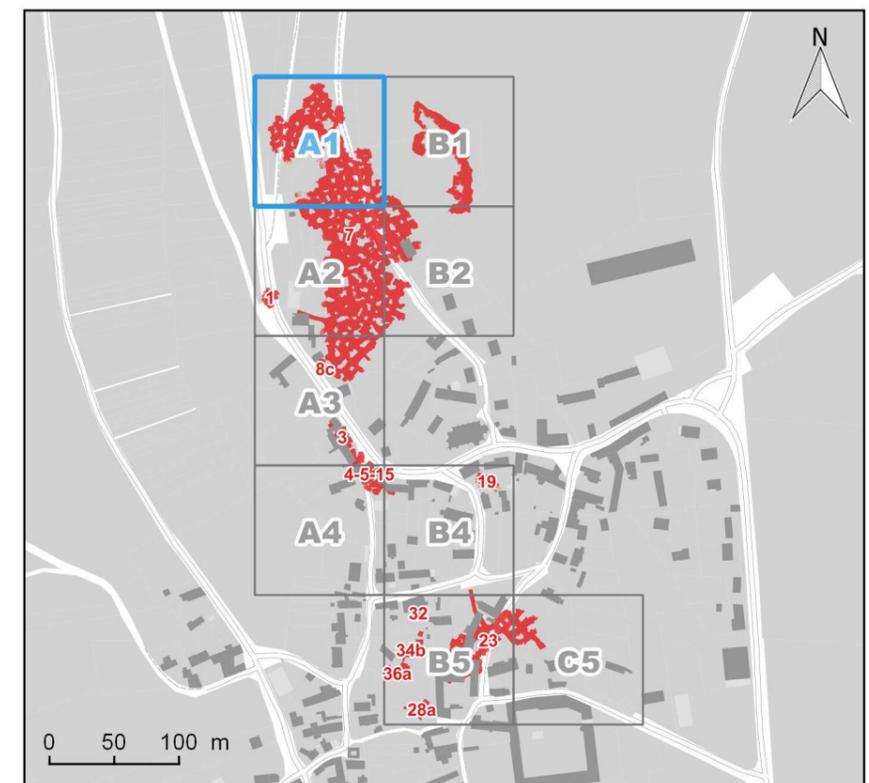


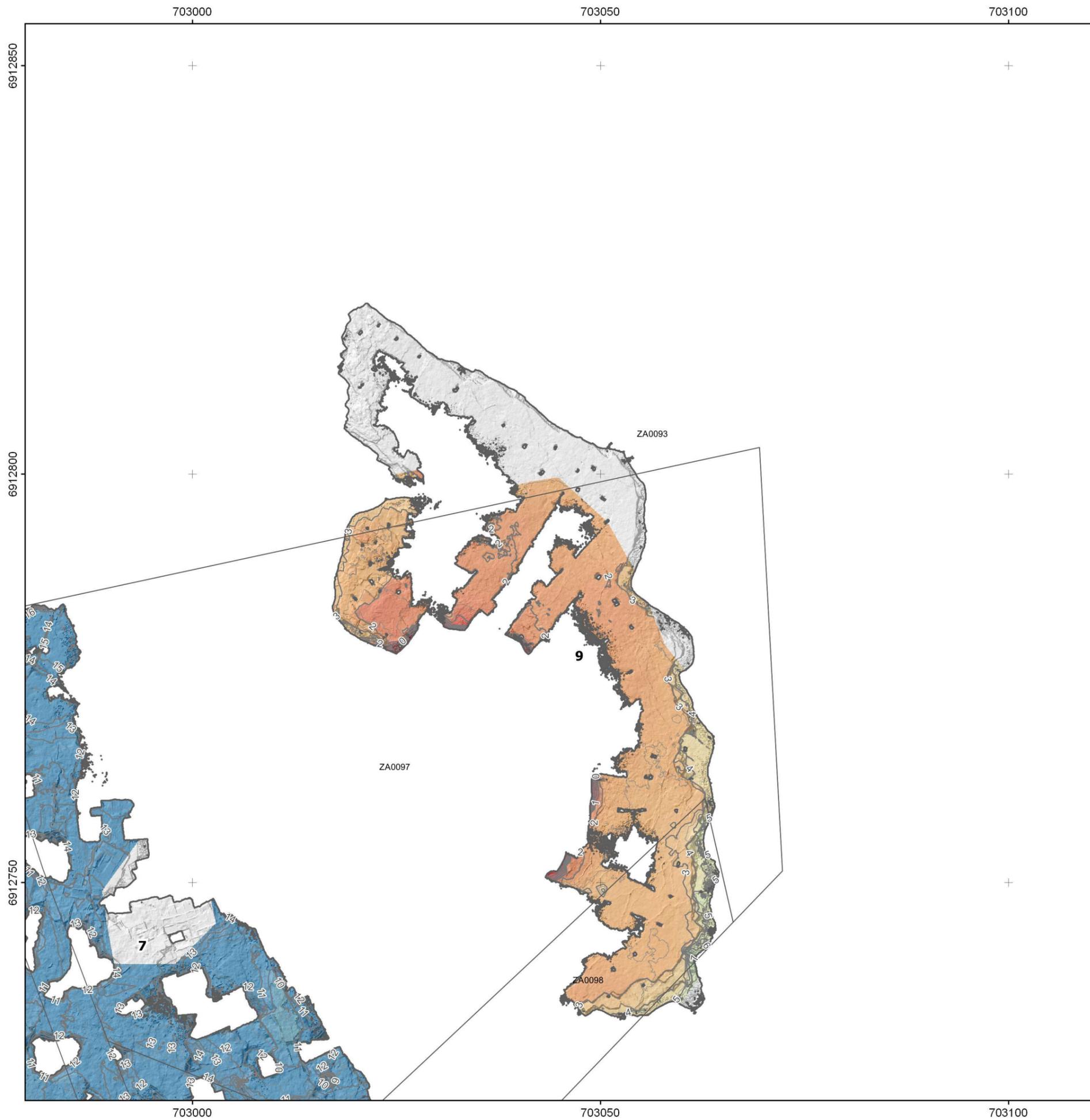
Origine des données : Levé 3D
 réalisé au scanner laser mobile
 ZEB-REVO le 10/02/2017 et du
 25 au 27/02/2019



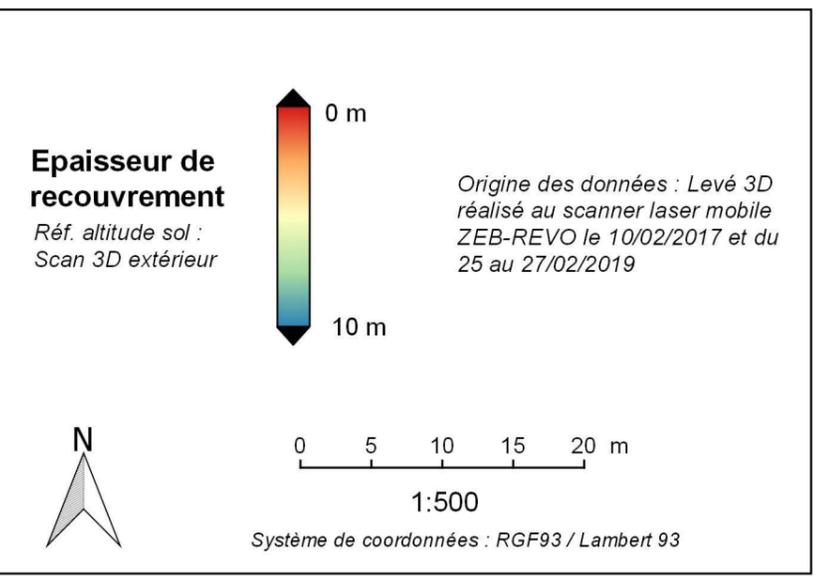
1:500

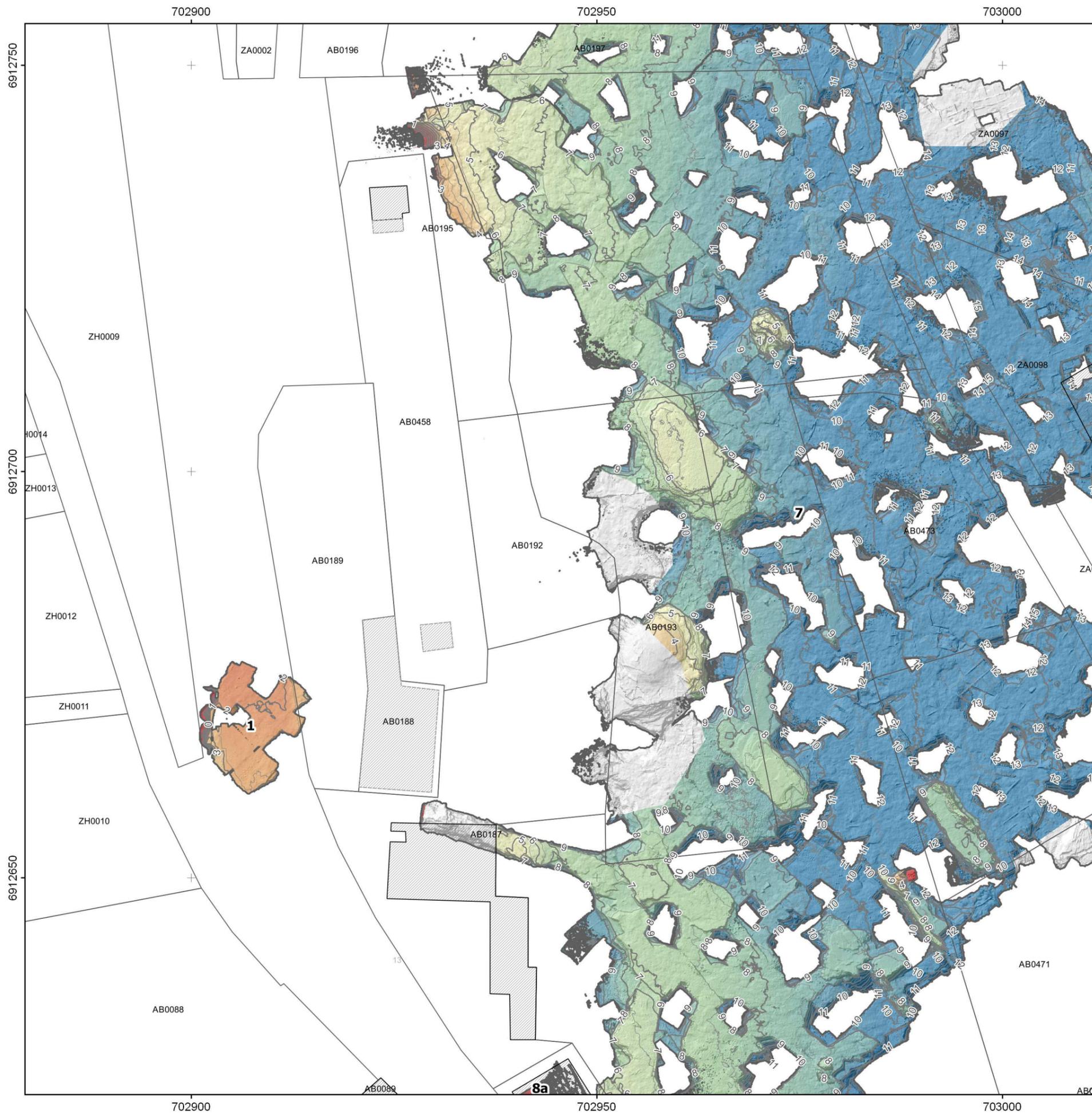
Système de coordonnées : RGF93 / Lambert 93



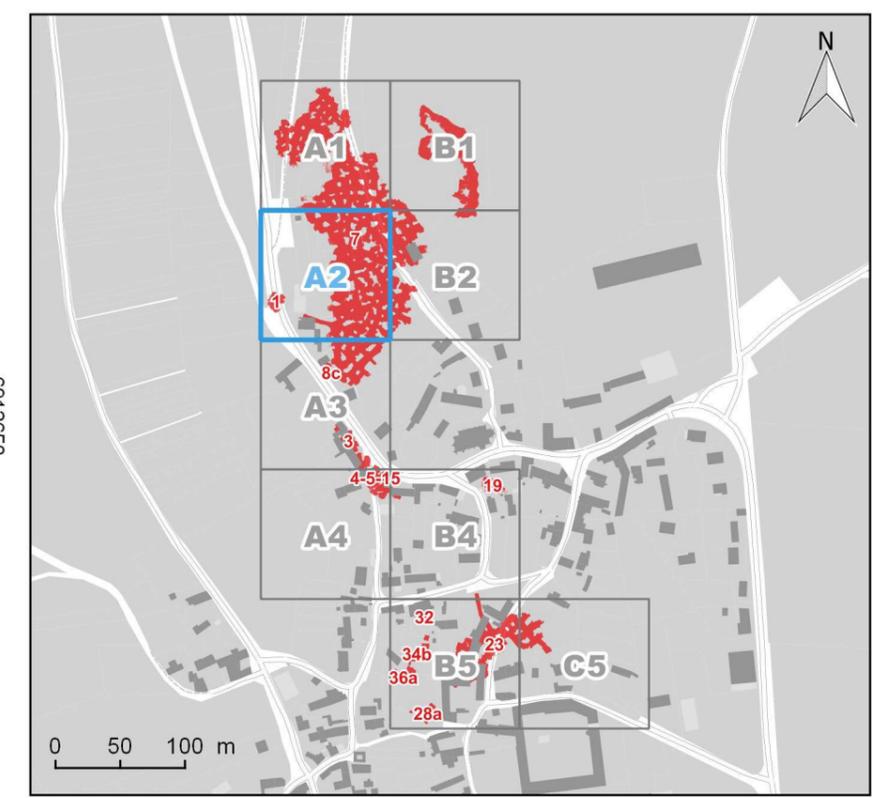
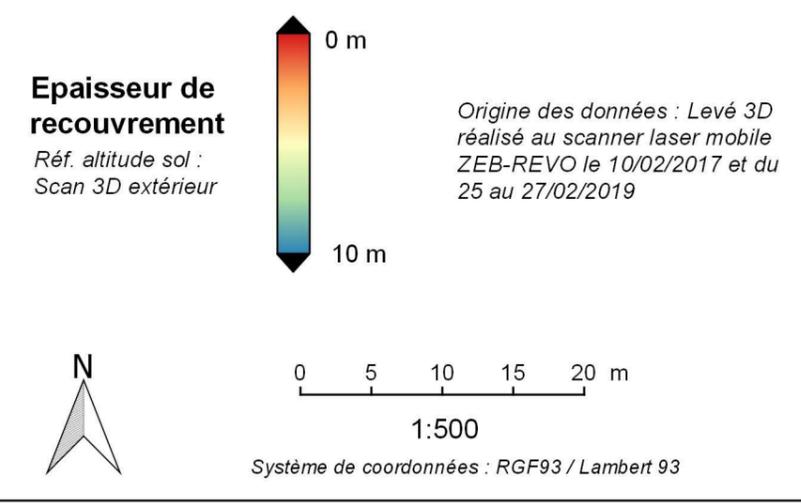


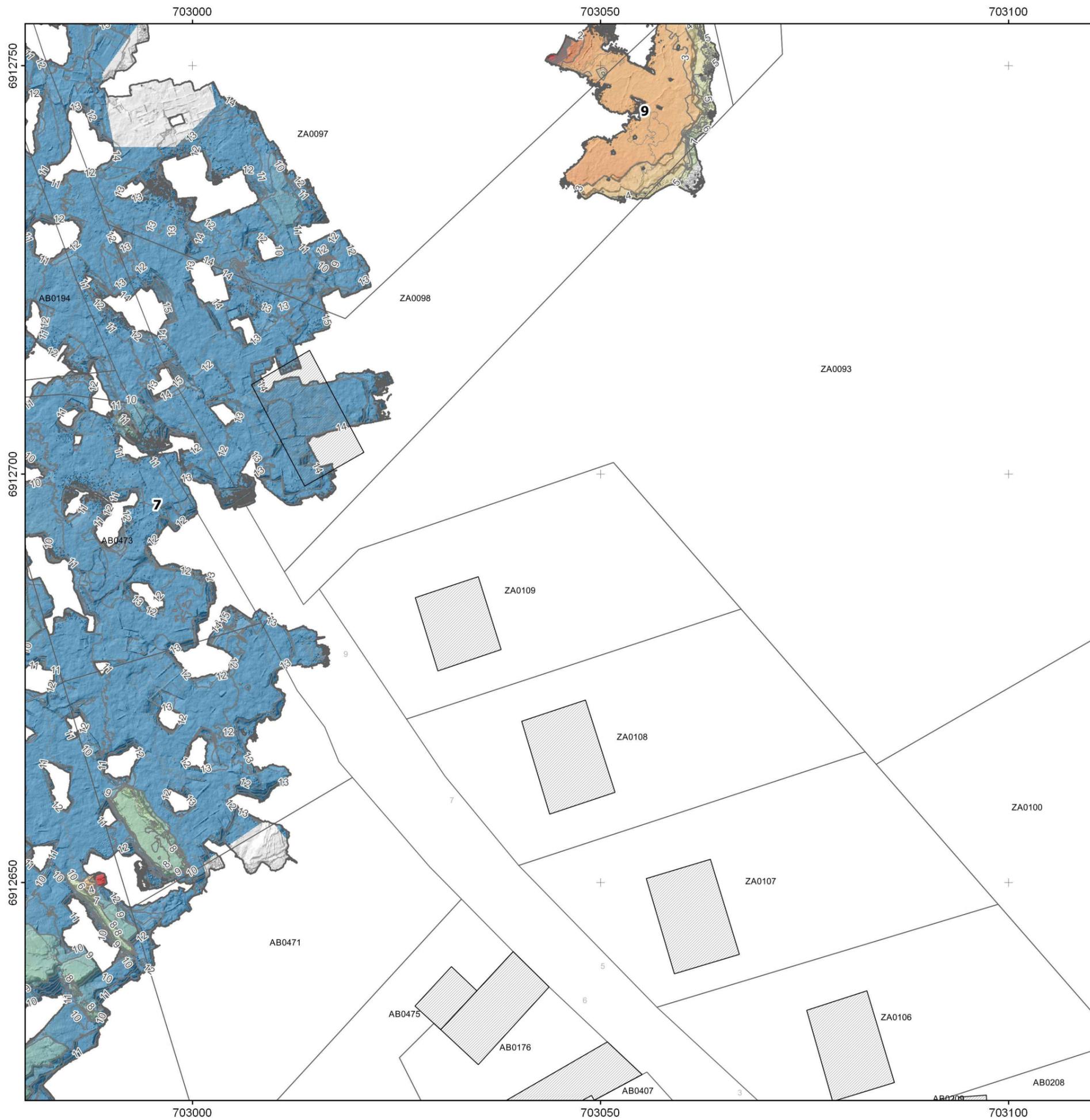
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B1
Epaisseurs de recouvrement





Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A2
Epaisseurs de recouvrement



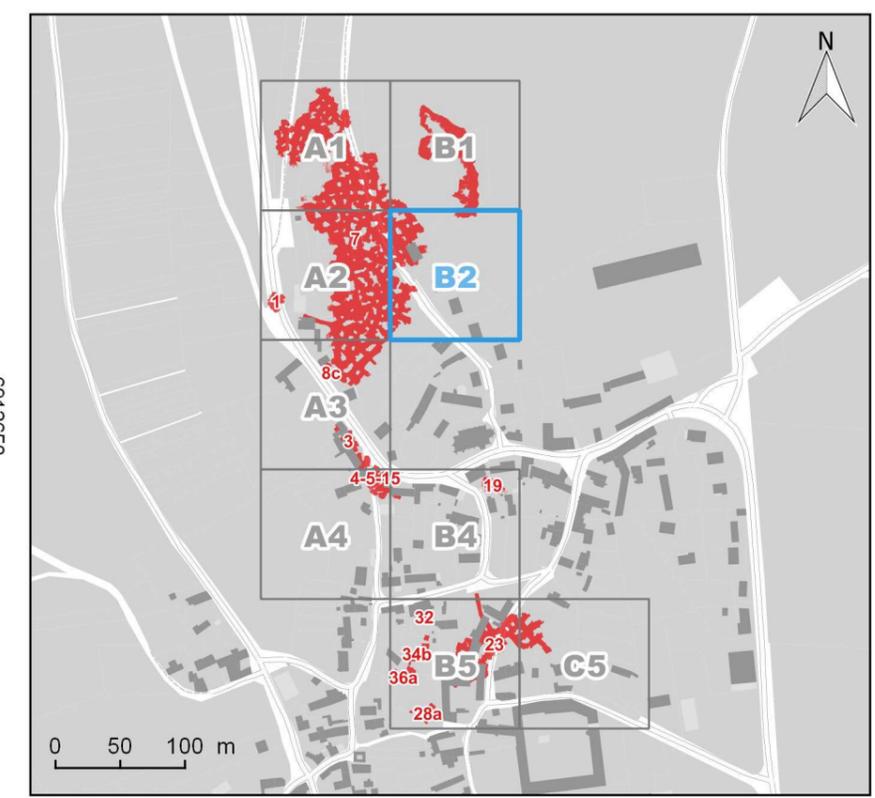
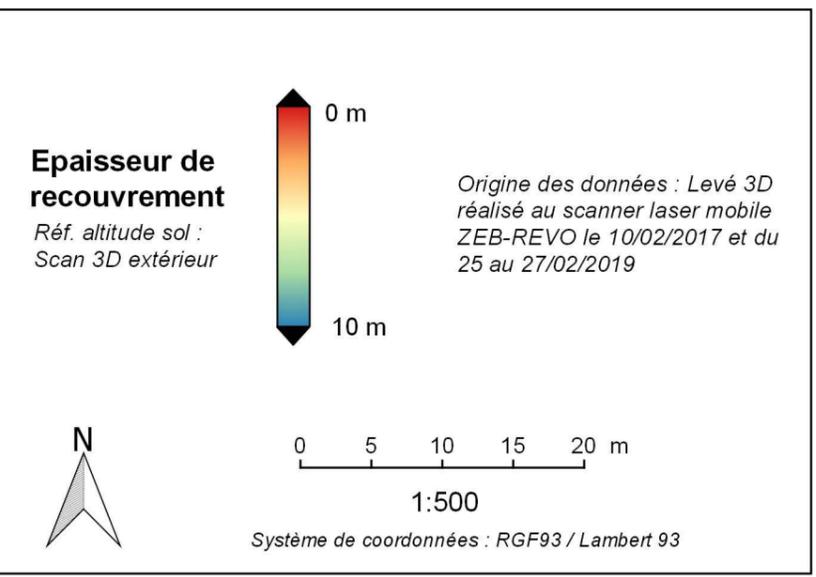


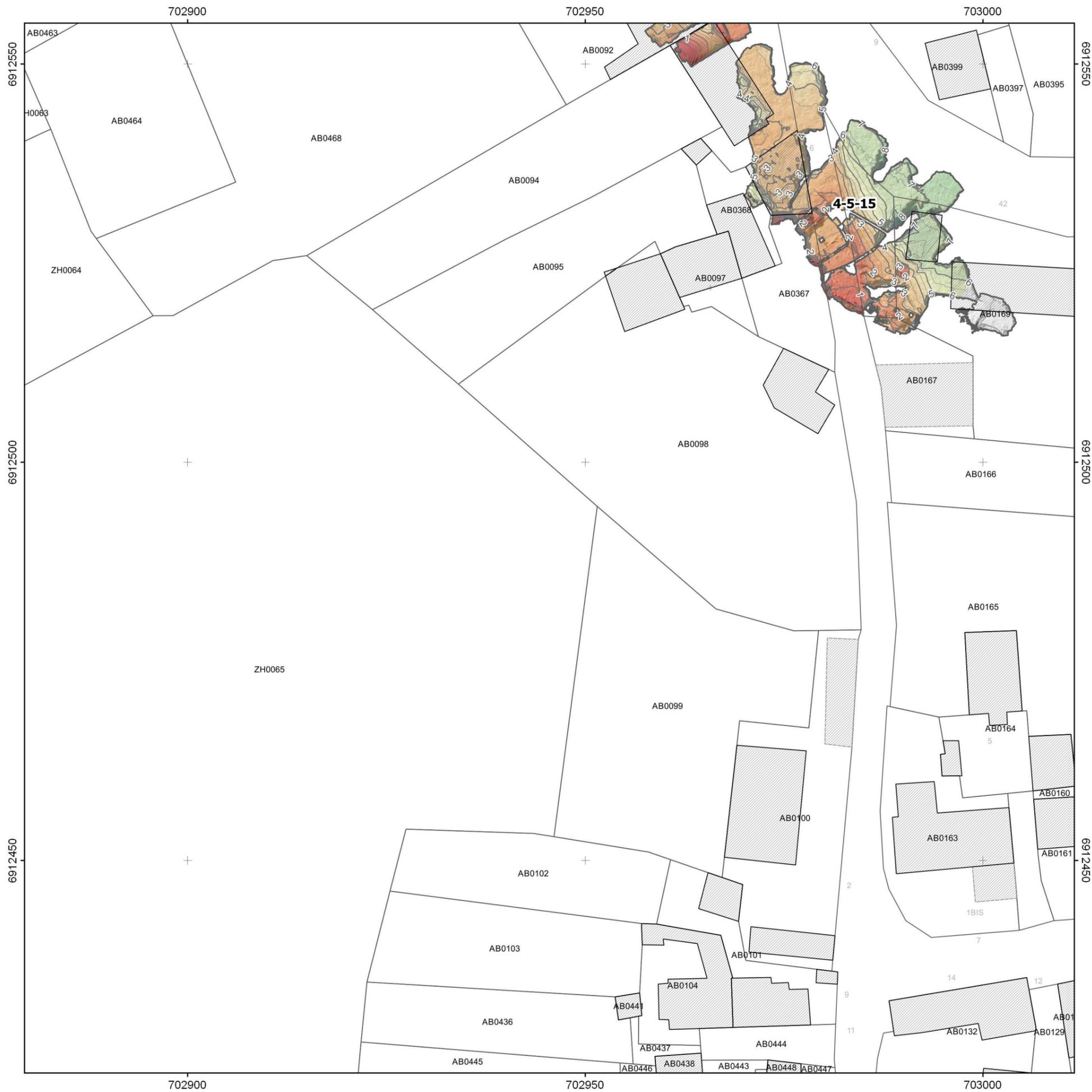
Commune de Taillefontaine (02)

Cartographie des cavités souterraines

Planche B2

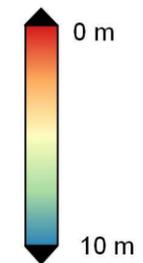
Epaisseurs de recouvrement



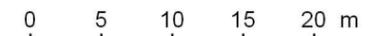


Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A4
Epaisseurs de recouvrement

Epaisseur de recouvrement
 Réf. altitude sol :
 Scan 3D extérieur

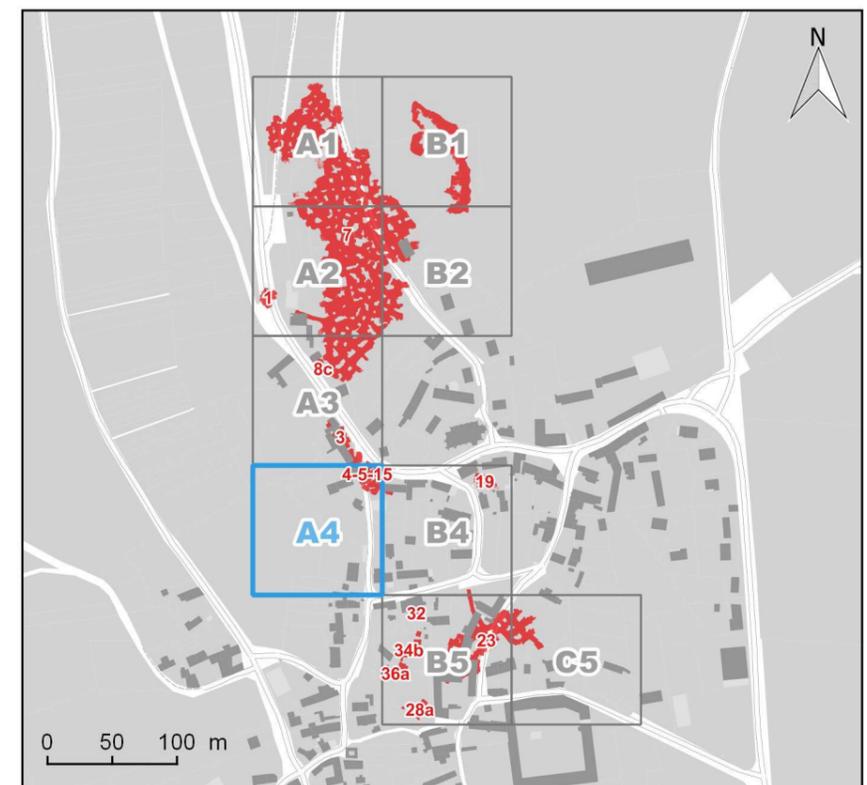


Origine des données : Levé 3D
 réalisé au scanner laser mobile
 ZEB-REVO le 10/02/2017 et du
 25 au 27/02/2019



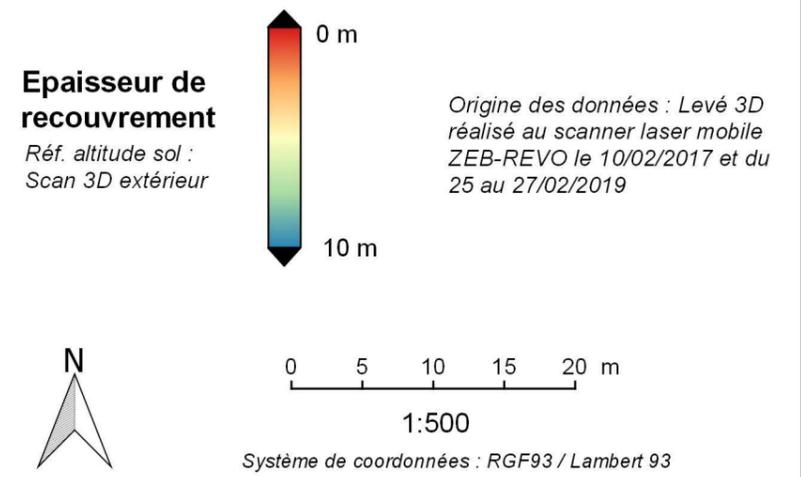
1:500

Système de coordonnées : RGF93 / Lambert 93



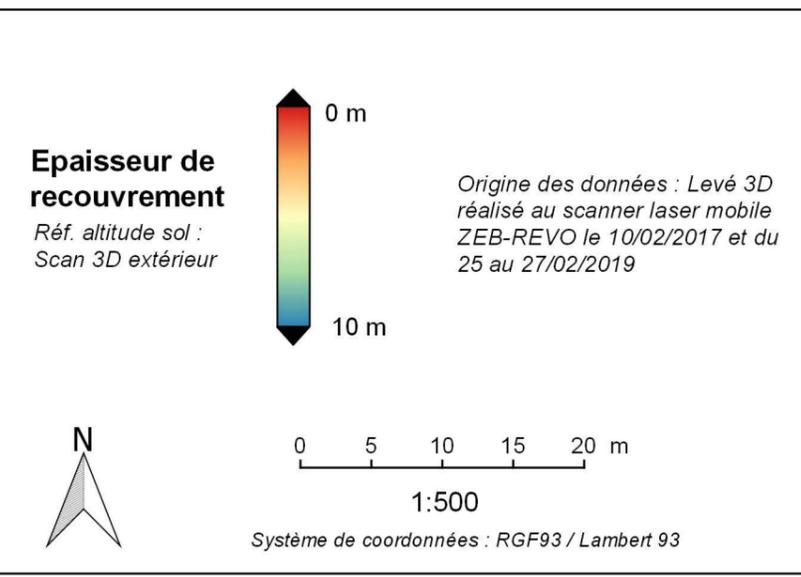


Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B4
Epaisseurs de recouvrement





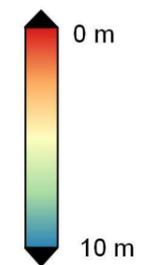
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B5
Epaisseurs de recouvrement





Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche C5
Epaisseurs de recouvrement

Epaisseur de recouvrement
Réf. altitude sol :
Scan 3D extérieur



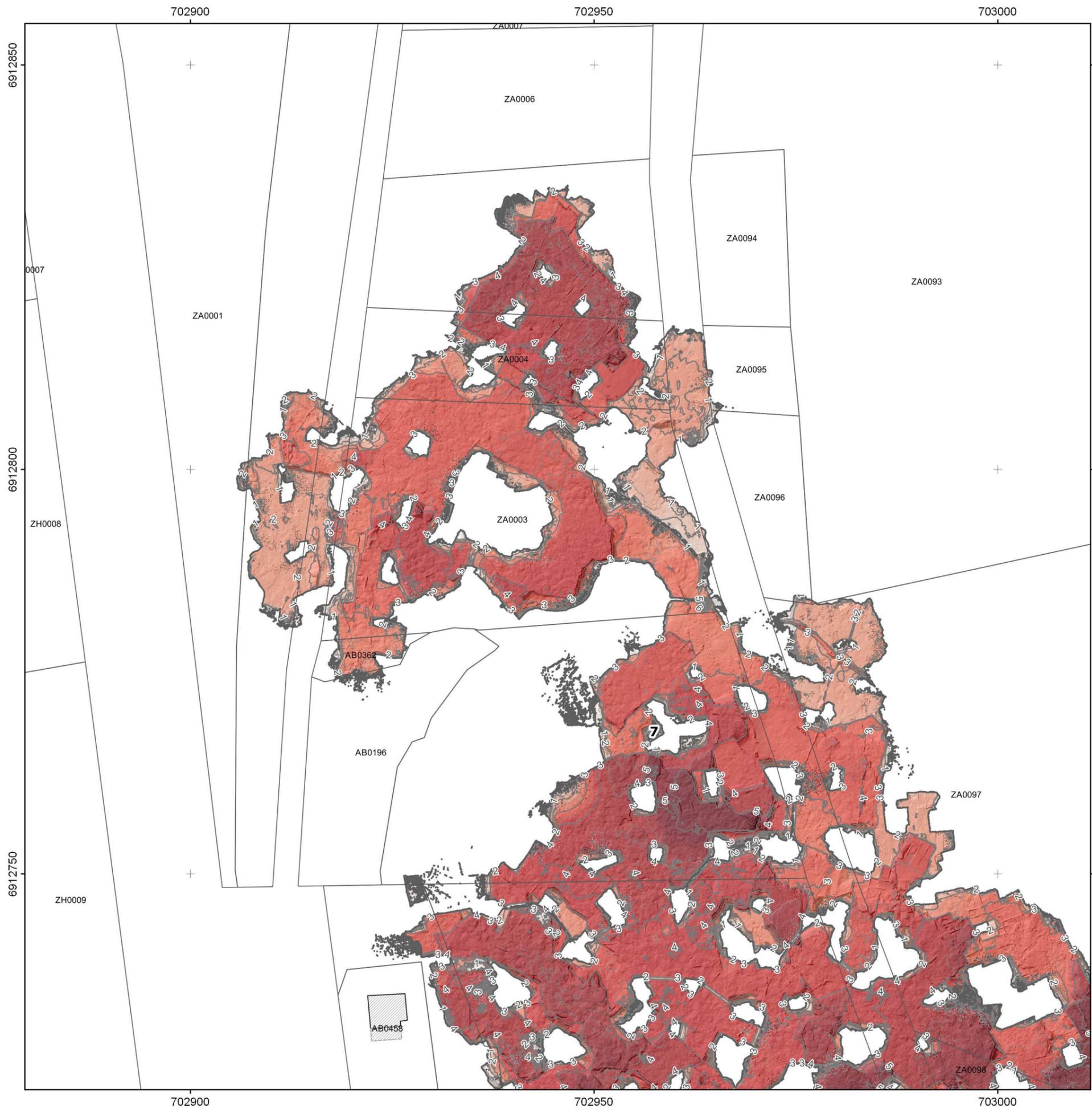
Origine des données : Levé 3D
réalisé au scanner laser mobile
ZEB-REVO le 10/02/2017 et du
25 au 27/02/2019



1:500

Système de coordonnées : RGF93 / Lambert 93







 Géosciences pour une Terre durable
brgm

Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A1
Hauteur de vide

Hauteur de vide

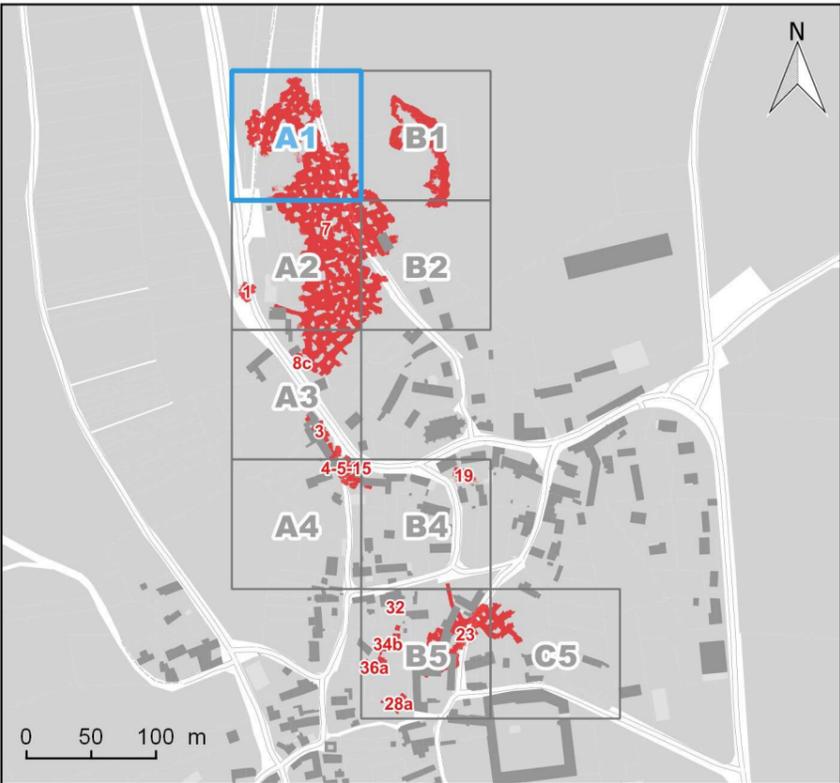


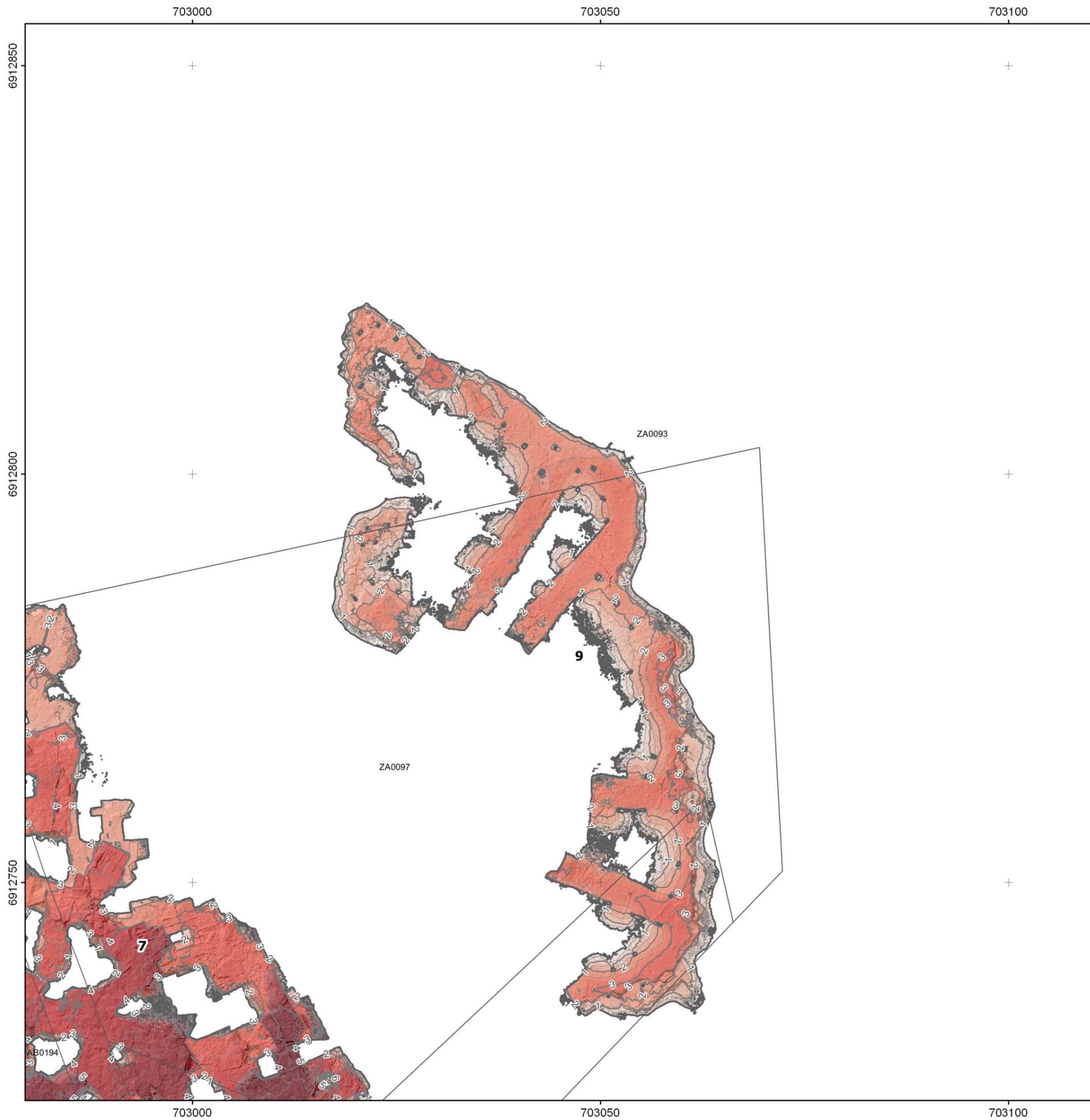
5 m
 0 m

*Origine des données : Levé 3D
 réalisé au scanner laser mobile
 ZEB-REVO le 10/02/2017 et du
 25 au 27/02/2019*

0 5 10 15 20 m
 1:500

Système de coordonnées : RGF93 / Lambert 93

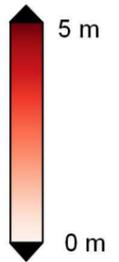





 Géosciences pour une Terre durable
brgm

Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B1
Hauteur de vide

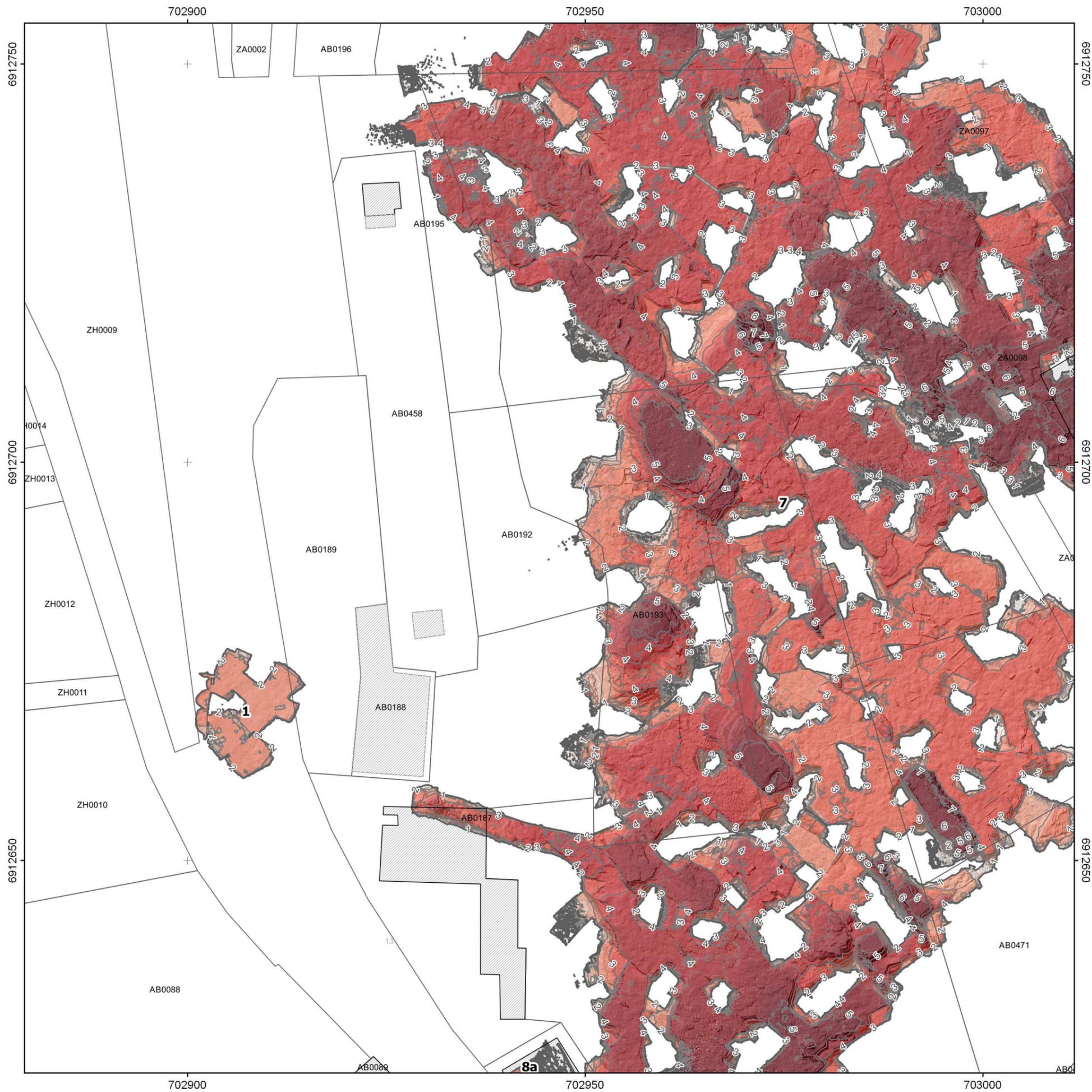
Hauteur de vide



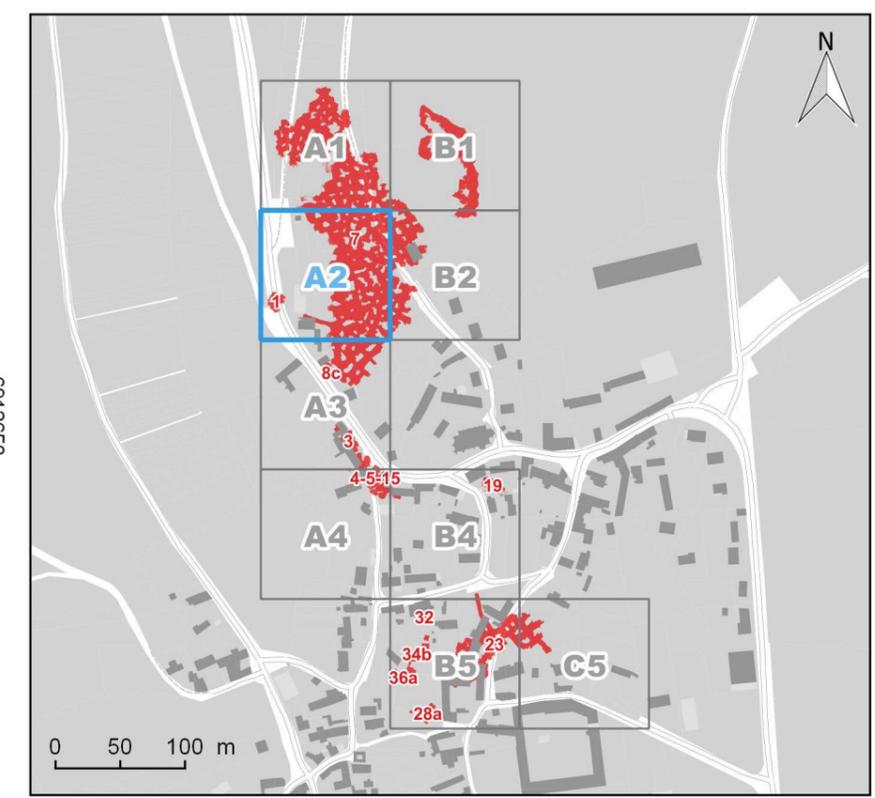
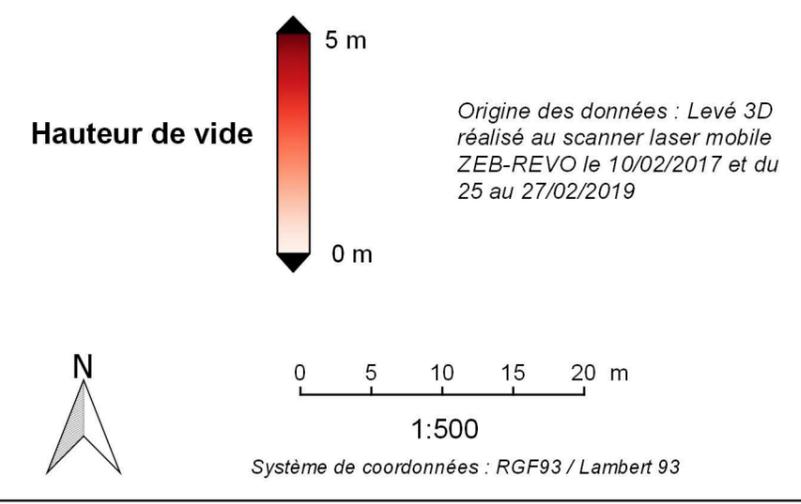
Origine des données : Levé 3D
 réalisé au scanner laser mobile
 ZEB-REVO le 10/02/2017 et du
 25 au 27/02/2019

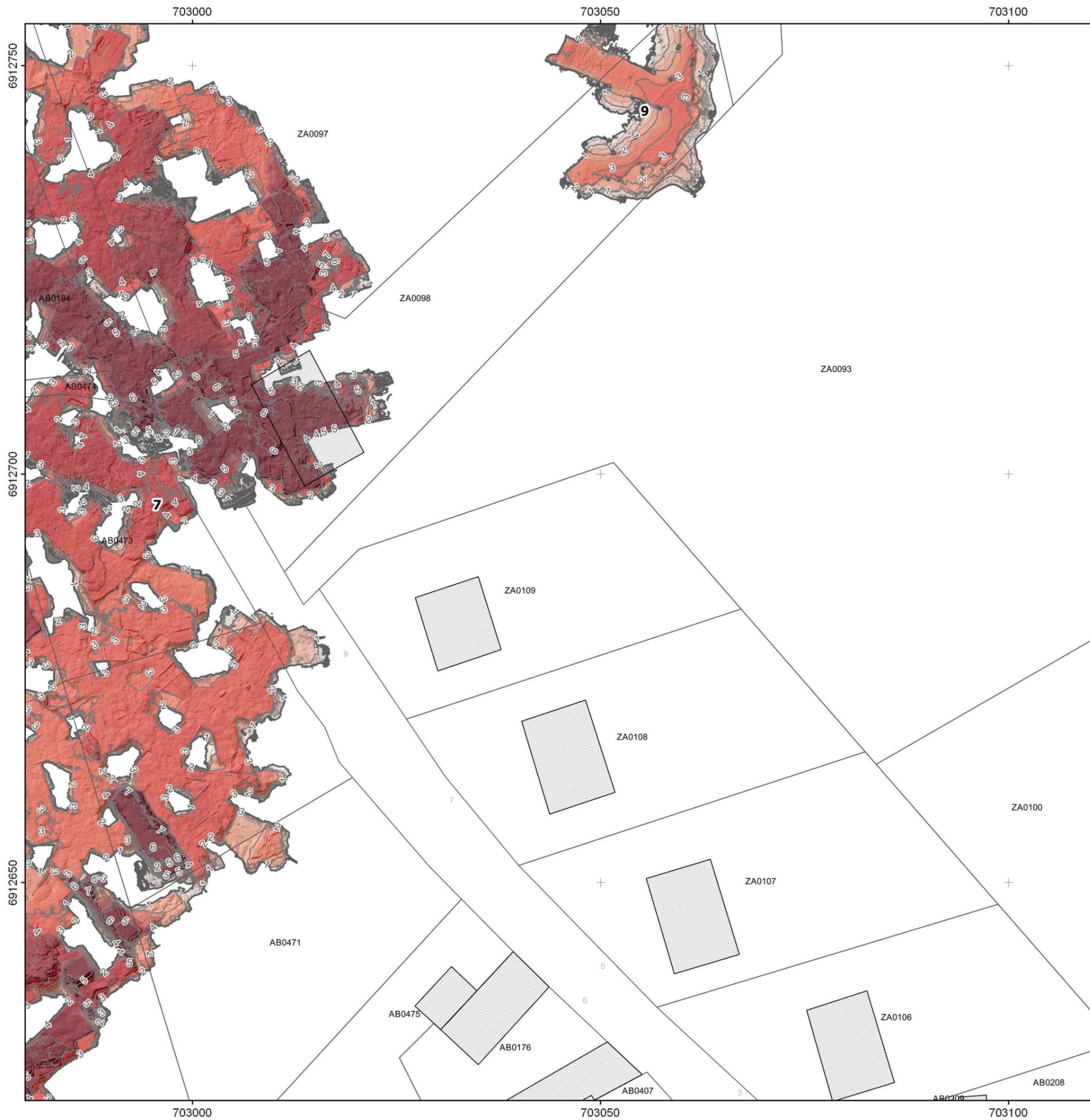
0 5 10 15 20 m
 1:500
 Système de coordonnées : RGF93 / Lambert 93



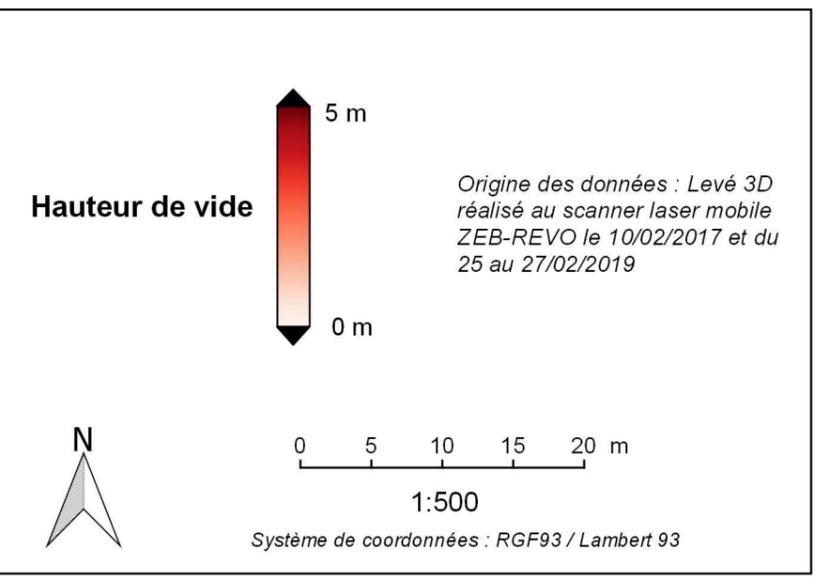


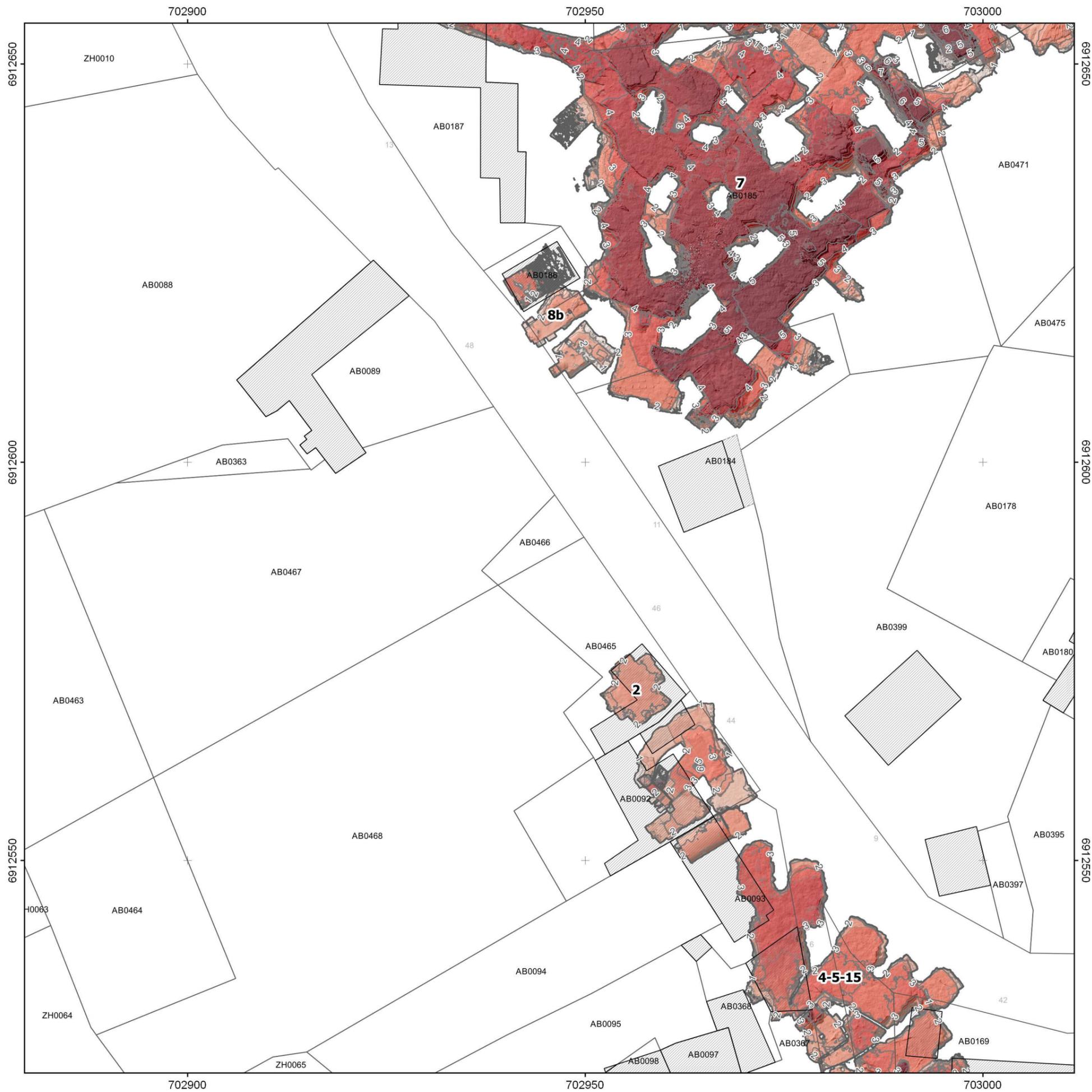
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A2
 Hauteur de vide



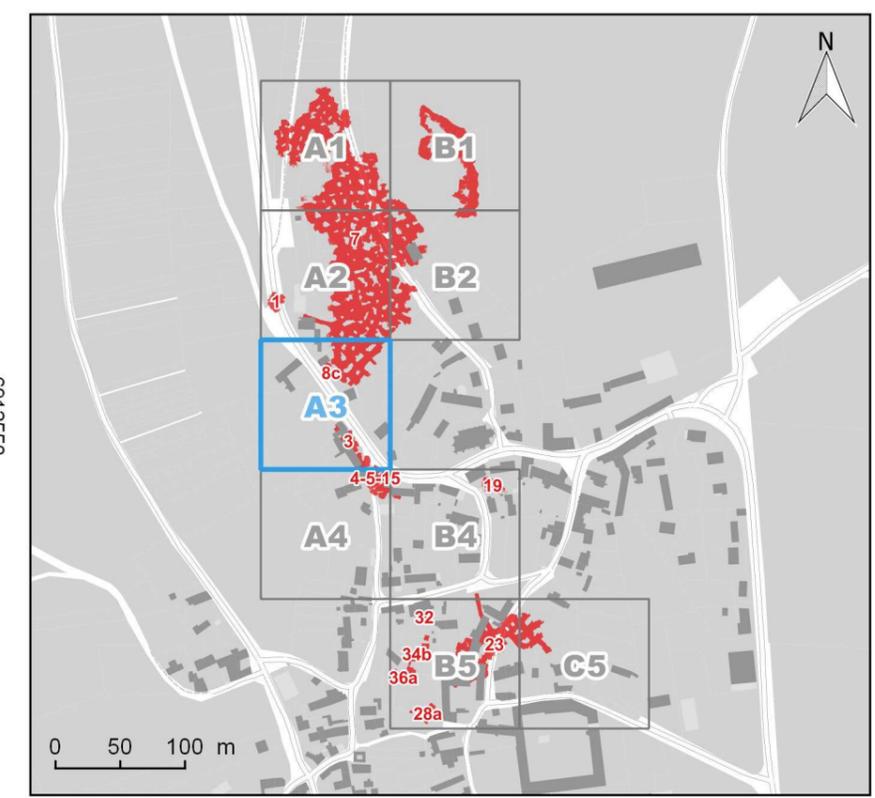
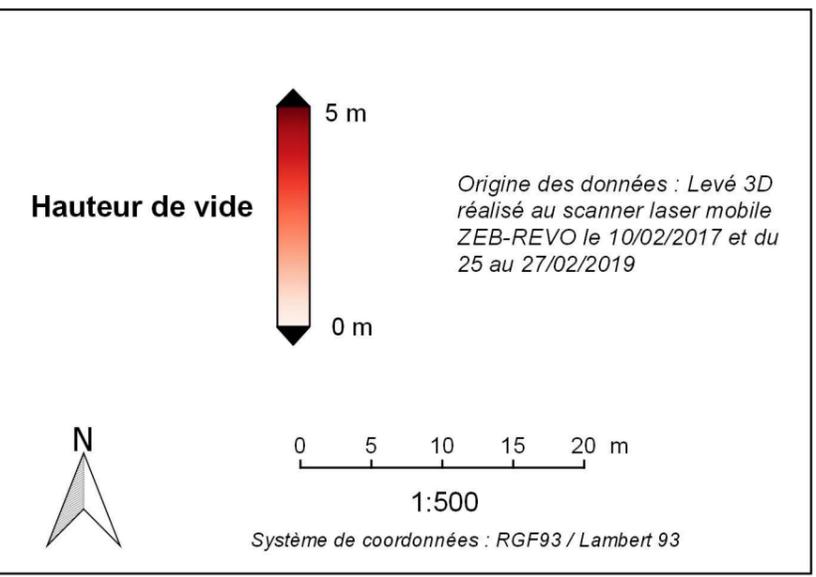


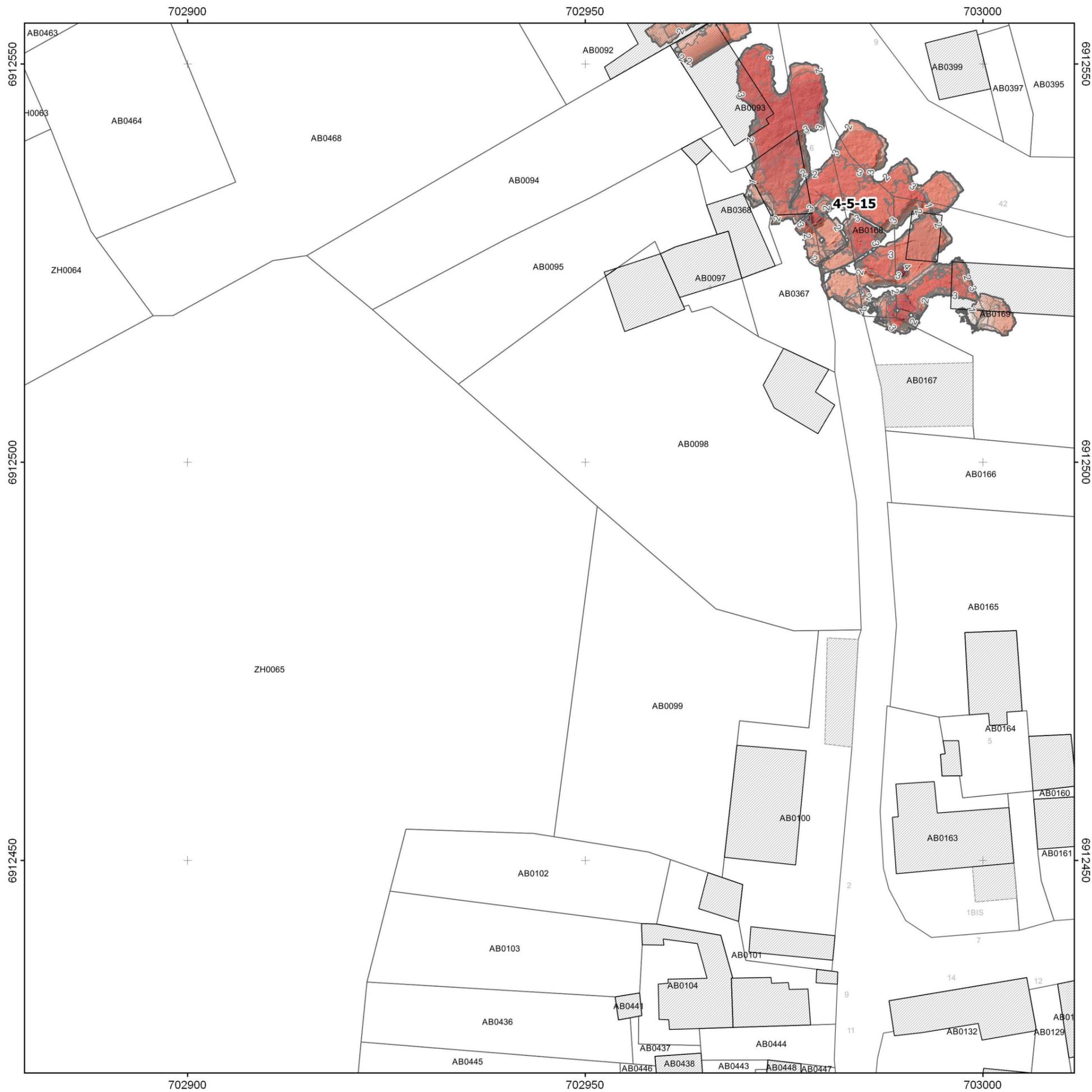
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B2
 Hauteur de vide



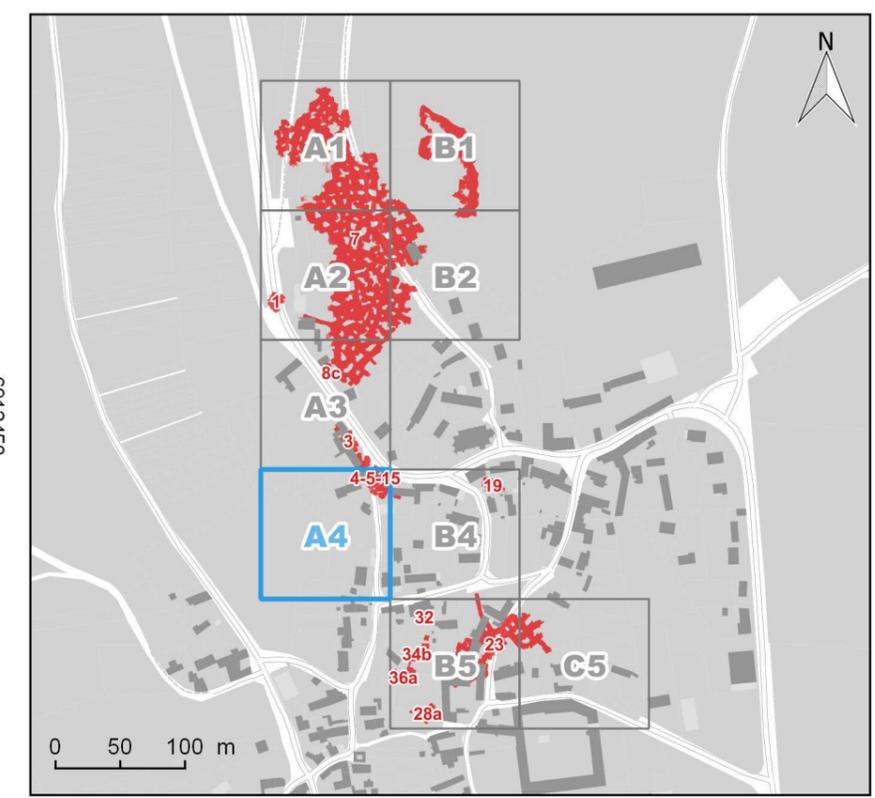
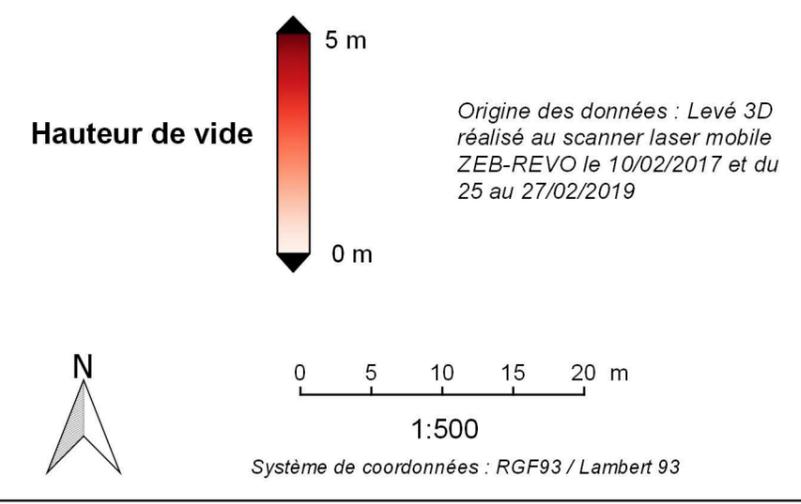


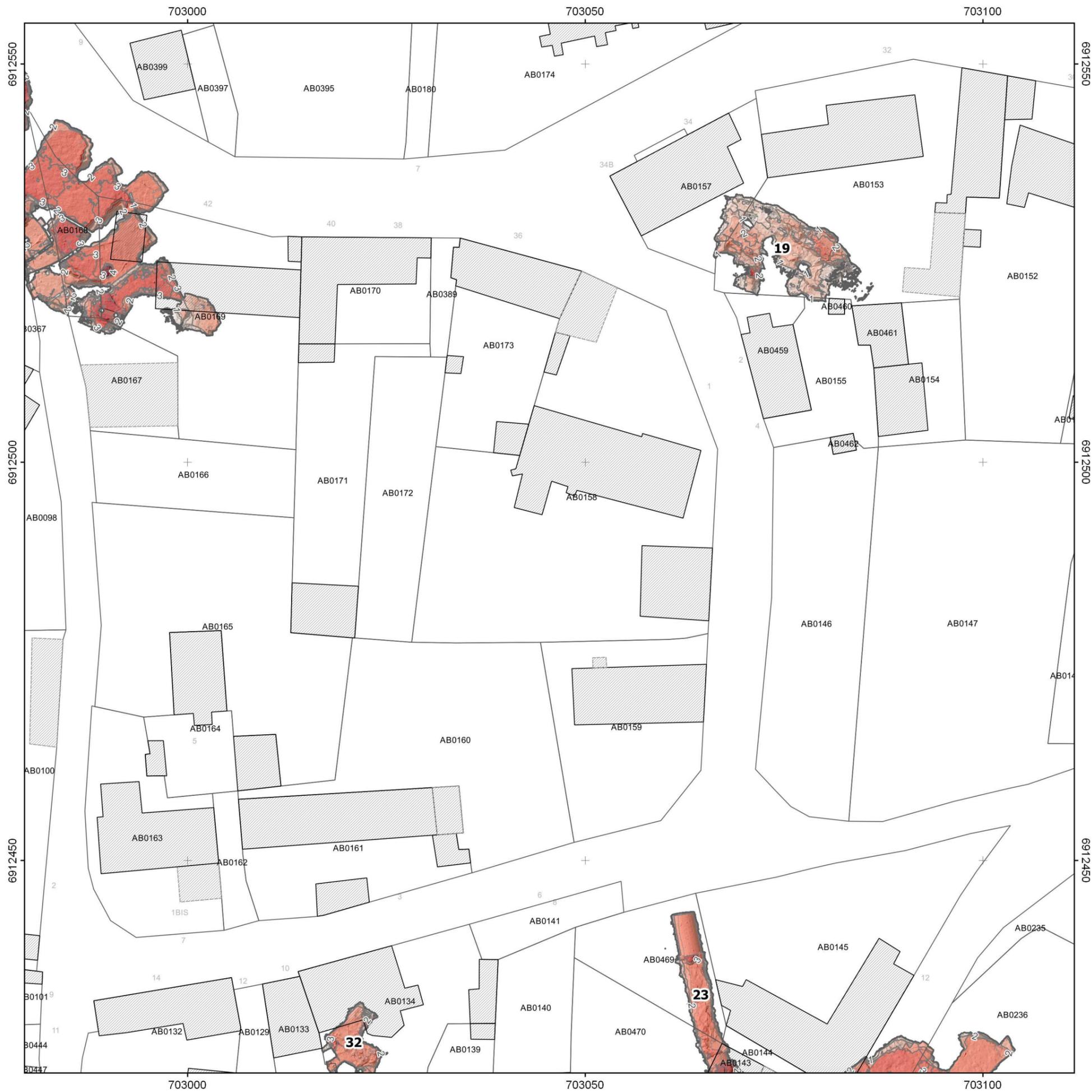
Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A3
 Hauteur de vide



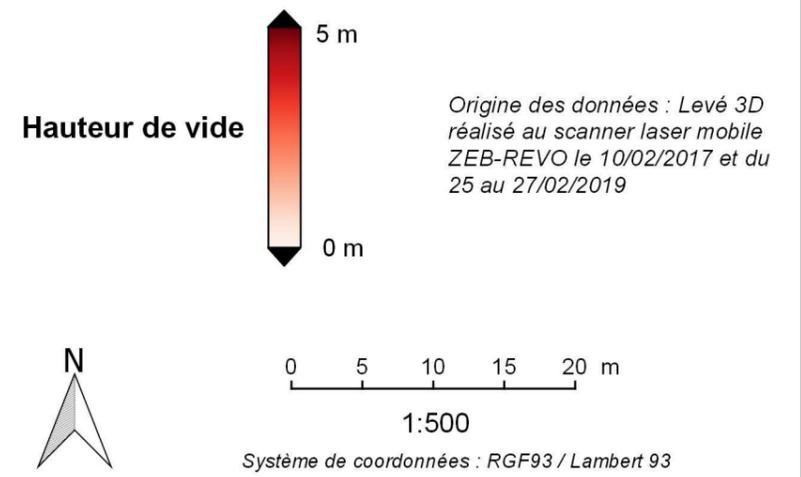


Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche A4
Hauteur de vide



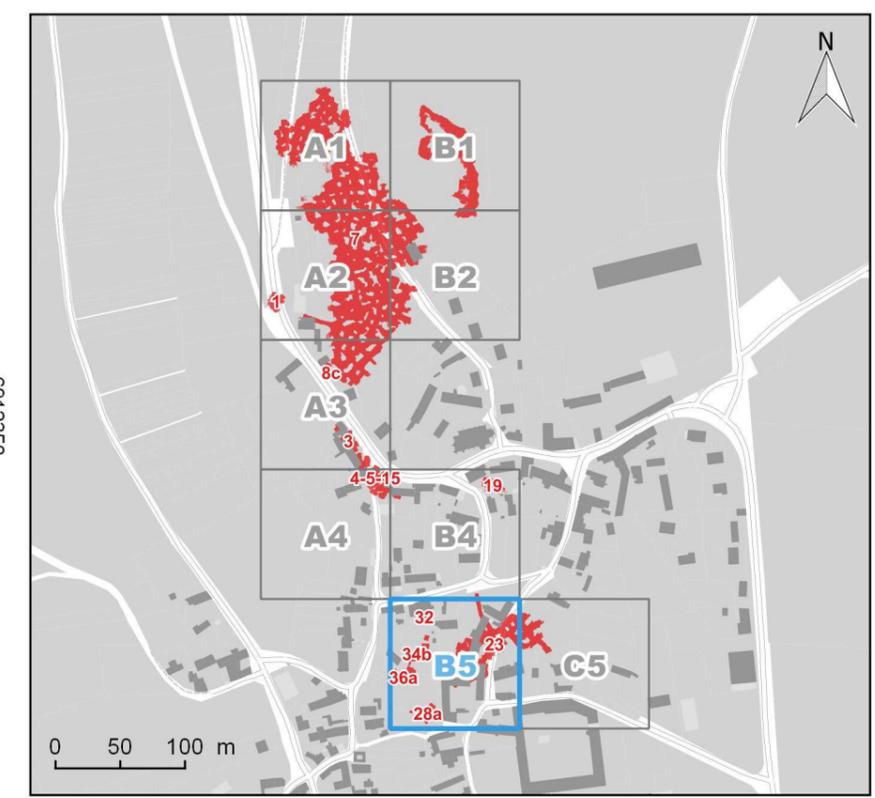
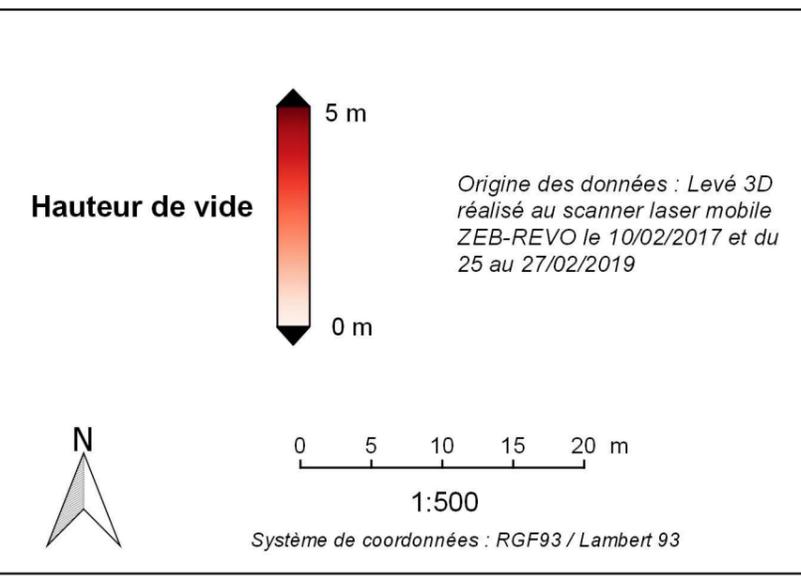


Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B4
Hauteur de vide





Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche B5
 Hauteur de vide





Commune de Taillefontaine (02)
Cartographie des cavités souterraines
Planche C5
Hauteur de vide

